

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikan koulutus

Tommi Tiainen

SUUNNITELMA MALLIPERUSTEISEN TUOTEMÄÄRITTELYN  
HYÖDYNTÄMISESTÄ RUISKUVALUMUOTTEJA  
VALMISTAVASSA KONEPAJASSA

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2021



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2021**  
**Konetekniikan koulutus**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä

Tommi Tiainen

Nimeke

Suunnitelma malliperusteisen tuotemäärittelyn hyödyntämisestä ruiskuvalumuotteja valmistavassa konepajassa

Toimeksiantaja

Medisize Oy

Tiivistelmä

Valmistavan teollisuuden tietotekniset ratkaisut ovat kehittyneet 2000-luvulla siihen pisteeseen, jossa mahdollisuudet kohti valmistuspiirustuksetonta tuotantoketjua ovat olemassa. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin digitaalisen malliperusteisen tuotemäärittelyn, Model Based Definition (MBD) hyödyntämistä ruiskuvalumuotteja valmistavassa konepajassa. Työn toimeksiantajana toimii Medisize Oy, jonka työkaluyksikössä oli halu selvittää aiheen käyttökelpoisuutta omassa tuotantoketjussa suunnittelusta valmiiksi tuotteeksi.

Opinnäytetyössä käsiteltiin MBD-tuotemäärittelyä, sen ympärille liittyviä käsitteitä, tiedonsiirtoa sekä käyttösovellutuksia. Malliperusteisen tuotemäärittelyn käyttökelpoisuutta selvitettiin käyttökokeilujen avulla. Ensimmäisessä vaiheessa suunniteltiin 3D-tuotemalli, jolle laadittiin tuotemäärittely CAD-ohjelmistolla. Laaditun mallin oli määrä kulkea läpi tuotantoketjun ja saatujen havaintojen pohjalta mietittiin jatkotoimia malliperusteisuuden käytölle. Lopuksi malliperusteisuuden hyödyntämistä kokeiltiin koordinaattimittakoneen mittaohjelman laadinnassa.

Saaduista havainnoista ja mittaustuloksista todetaan malliperusteisen tuotemäärittelyn olevan jo osittain toimiva työkalu tuotetiedonsiirtoon. Havaittuja etuja olivat tuotetietojen reaaliaikaisuus, mallien kolmiulotteisen tarkastelun helppous sekä tulevaisuuden automatisointimahdollisuudet teknisessä mittauksessa ja CAM-suunnittelussa. Haasteita täysipainoiseen käyttöön tuovat malliperusteisen tuotetiedon esittämisen hioutumattomat käytännöt ja tiedonsiirron epävarmuus mittakoneille.

Kieli

suomi

Sivuja 49

Liitteet 2

Liitesivumäärä 4

Asiasanat

MBD, tuotemäärittely, koordinaattimittaus, käyttökoe



**THESIS**  
**June 2021**  
**Mechanical Engineering**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author

Tommi Tiainen

Title

Plan for the utilization of Model Based Definition (MBD) in an injection molding machine shop

Commissioned by

Medisize Oy

Abstract

During the 21st century, the solutions of information technology in manufacturing industry have developed to the point where the production chain without manufacturing drawings are becoming possible. This thesis explores the utilization of digital Model Based Definition (MBD) in machine workshops that produce injection molds. The assignment came from Medisize Oy whose tool unit has had a desire to find out the feasibility of the method in its own production chain from design to final product.

The theory section of this thesis deals with MBD, the related concepts, data transfer and applications. The implementation section clarifies the feasibility of MBD with the help of service experiments. In the first stage, a 3D CAD model is formed with the product definition produced using CAD software. The former model is to go through the production chain, and further steps for use of MBD are considered based on the received observations. Finally, the utilization of MBD is experimented in drafting a measuring program for a Coordinate Measuring Machine (CMM).

The received observations and measuring results show that the MBD is already a partially functional tool for data transfer. The detected benefits are real time product information, the easiness of 3D observation, and the possibilities of automatization in technical measuring, as well as CAM design in the future. The challenges for full scale use are the insufficient practices of presenting MBD and the uncertainty of data transfer to the measuring machines.

Language

Finnish

Pages 49

Appendices 2

Pages of Appendices 4

Keywords

MBD, product definition, coordinate measuring, implementation

# Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Teoria ja tietoperusta.....	6
2.1	Yritysesittely.....	6
2.2	MBD Model Based Definition – digitaalinen tuotemäärittelyn konsepti .....	7
2.2.1	Hyödyt .....	10
2.2.2	Haasteet.....	11
2.3	MBE - Model based enterprise .....	12
2.4	PMI – tuotetieto .....	15
2.4.1	Graafinen PMI.....	16
2.4.2	Semanttinen PMI.....	16
2.5	Malliperusteiseen tuotemäärittelyyn liittyvät standardit .....	17
2.6	MBD:n käyttösovellutuksia tuotantoketjussa.....	19
2.6.1	Toleranssianalyysi CAE .....	20
2.6.2	Työstöratojen laadinta CAM .....	20
2.6.3	Laadun varmistus CMM:llä .....	21
2.7	Tiedonsiirtoformaatit .....	22
2.7.1	JT .....	23
2.7.2	STEP 242 .....	25
3	MBD-malliperusteisen tuotemäärittelyn käyttösuunnitelman toteutus .....	26
3.1	Tekninen valmius lähtötilanteessa.....	27
3.2	Testikappaleen suunnittelu ja ISO 16792 pohjaiset suunnitteluvaatimukset .....	28
3.3	Värikoodaus valmiille tuotepinnoille.....	29
4	MBD-tuotemäärittely Siemens NX PMI modulilla .....	30
4.1	Peruselementtien asetus 3D-malliin .....	31
4.2	Tuotemallin arvot ja mitat .....	31
4.3	GD&T geometristen toleranssien liittäminen .....	32
4.4	Mitattavat annotaatiot ja positiomitta.....	33
4.5	Leikkauskuvannon teko .....	34
4.6	Tallennetut näkymät ja valmis tuotemäärittely.....	35

5	Mittaohjelman laadinta.....	37
5.1	MBD määrittelyyn tuotemallin tiedonsiirto mittakoneelle .....	37
5.2	Mittaohjelman luonti .....	37
5.2.1	PMI tietojen määrittäminen Zeiss Calypsolle .....	38
5.2.2	Mittaustavan hienosäätö.....	39
5.3	Mittaustulokset.....	40
6	Pohdinta .....	41
	Lähteet .....	44

## Liitteet

Liite 1	PMI tuotemallien tarkastelu Teamcenter Active Workspace -näkyvässä
Liite 2	PMI tuotemallien tarkastelu Teamcenter Visualization Standard -näkyvässä

## Käsiteluettelo

2D	Two dimensional, kaksiulotteinen.
3D	Three dimensional, kolmiulotteinen.
Annotaatio	Tekniseen dokumenttiin lisätty merkintä tai kuvaus.
ASME	The American society of mechanical engineers, Yhdysvaltain koneinsinöörien yhdistys.
Assosiatiivinen	Digitaalisten elementtien välinen vakiintunut suhde.
Attribuutti	3D-mallin määritelmän tai tuotteen ominaisuuksien täydentämiseen vaadittava mitta, toleranssi, huomautus, teksti tai symboli, joka ei ole näkyvässä, mutta on käytettävissä mallia kysyttäessä.
CAD	Computer Aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAE	Computer Aided Engineering, tietokoneavusteinen
CAM	Computer Aided manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus.
CMM	Coordinate Measuring Machine, koordinaattimittakone.
Datum Feature Symbol	3D-mallin halutuille pinnoille merkityt peruselementti kirjainsymbolit. Ovat pintoja, joita vasten geometriset toleranssit mitoitetaan.
EDM	Kipinätyöstö. Valmistustapa metallintyöstössä, jossa tasavirtapulsseilla haluttuun muotoon työstetyn kuparisen tai grafiittisen työstöelektrodin ja työstettävän metallikappaleen välille synnytetään elektroni- ja ionipurkaus.

GD&T	Geometric dimensioning and tolerancing, geometrinen mitoitus ja tolerointi.
GPS	Geometric product specifications, geometrinen tuotemäärittely.
ISO	International Organization for Standardization, maailmanlaajuinen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liitto.
JT	Jupiter tessellation, tiedonsiirtoformaatti.
MBD	Model-based definition, malliperusteinen tuotemäärittely.
MBE	Model-based enterprise, mallipohjainen yritystason toimintamalli.
Moduuli	Ohjelmiston itsenäinen ja toiminnallinen osa.
PDM	Product data management, tuotetiedon hallinta.
PLM	Product life-cycle management, tuotteen elinkaaren hallinta.
PMI	Product and manufacturing information, tuote- ja valmistustiedot.
Revisio	Revisionumero tai kirjain, kertoo, mikä versio kappaleesta on kyseessä.
SFS	Standardization organization of Finland, Suomen Standardisoimis-liitto.
Sketch	Sketsi, luonnostelu.
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data, on neutraali digitaalisten 3D tuotetietojen esittämiseen ja siirtämiseen tarkoitettu ISO hyväksytty standardi.

# 1 Johdanto

Valmistava teollisuus elää murroksen aikaa. Kova kansainvälinen kilpailu markkinoilla, kuluttajapaineet sekä tietotekniikan kehittyminen pakottavat valmistusorganisaatioita digitalisoitumaan, jotta ne voivat varmistaa markkina-asemansa myös jatkossa. (Adawieh 2019.)

Myös tuotekehityksen ja suunnittelun on osaltaan vastattava tietotekniikan kehitykseen ja opittava hyödyntämään paremmin sen tuomia hyötyjä. Perinteisesti suunnitteluprosessit ovat keskittyneet kaksiulotteisten teknisten valmistuspiirustusten ympärille, kun tietoa on siirretty suunnittelusta tuotantoketjun muihin osiin. Tekniset piirustukset ovat toimineet hallitsevina tuotetietoina pian vuosisatojen ajan. Tuotekehitysjaksojen lyhentäminen tietotekniikan kehityksen lisäksi on luonut yrityksille tarpeen siirtyä hiljalleen pois teknisistä valmistuspiirustuksista. (Ramesh 2010.)

Ratkaisua valmistavan teollisuuden tarpeille siirtyä valmistuspiirustuksista kohti digitaalista tuotemäärittelyä on haettu malliperusteisesta tuotemäärittely MBD:stä (Model Based Definition). Keskeisenä ajatuksena malliperusteisessa tuotemäärittelyssä on, että 3D-tuotemallia käytetään kaikkien valmistusta varten tarvittavien tietojen välittämiseen, joita tuotantoketjun organisaatiot tarvitsevat suorittaakseen osansa toimitusjaksosta. (Quintana, Rivest, Pellerin, Venne & Kheddouci 2010, 498.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda käyttökokeilut ja suunnitelma malliperusteisen tuotemäärittelyn hyödyntämisestä toimeksiantajana toimivan Phillips Medisize Toolroomin ruiskuvalumuotteja ja sen osia valmistavassa tuotannossa. Toimeksiantajalla on halu selvittää mallipohjaisen tuotemäärittelyn käyttömahdollisuudet omassa tuotantoketjussaan ja luoda suunnitelma sen käytölle lähitulevaisuudessa.

Opinnäytetyön toteuttajana suunnittelen tuotemallin, joka pohjautuu tuotannossa tyypillisesti olevaan ruiskuvalumuotin osaan ja laatii osalle mallipohjaisen tuotemäärittelyn ISO 16792 -standardiin pohjautuen. Tuotemäärittelystä saatavin tiedoin suunniteltu osa on määrä kuljettaa tuotantoketjun läpi, josta tuotoksena kerätään tarvittavaa tietoa siitä, mitä seikkoja mallipohjainen tuotemäärittely kyseisessä tuotannossa vaatii toimiakseen ilman erillisiä teknisiä piirustuksia. Lisäksi työssä selvitetään

mahdollisuutta käyttää tuotemääriteltyyn tuotemalliin lisättyjä teknisiä tietoja apuna laadunvarmistukseen automatisoinnissa koordinaattimittakoneella.

Työn kulku etenee tietoperustasta käytännön toteutusvaiheeseen, jonka päätteeksi pohditaan saavutettuja tuloksia johtopäätöksissä. Työstä rajataan pois 3D-tuotemallinnus sekä CAD-ohjelmiston käyttöön vaadittavat tiedot.

## **2 Teoria ja tietoperusta**

### **2.1 Yritysesittely**

Phillips Medisize on maailmanlaajuinen lääketeollisuuden lääkeannosteluun, terveysteknologian laitteisiin ja diagnostiikkatestereihin erikoistunut yritys, jonka toimiala käsittää sekä valmistuksen että tuotekehityksen. (Phillips Medisize 2020.)

Yritys on saanut alkunsa vuonna 1964 Phillipsin kaupungissa, Yhdysvaltojen Wisconsinin osavaltiossa, nimellä Phillips Plastics Corporation. Oma suunnittelu ja tuotekehitys on aina ollut vahva osa yhtiön strategiaa, joten vuonna 1983 yritys perusti oman suunnittelu- ja tuotekehityskeskukseen Hudsoniin, lähelle Minneapolisia. (Phillips Medisize 2020.)

Vahvan kasvun myötä yritys avasi ensimmäisen varsinaisesti lääketeollisuuden komponentteihin erikoistuneen tehtaansa vuonna 1992 Wisconsinin Menomoniin. Laajentuminen kiihtyi vuosina 1996–2005. Ajanjaksolla yhtiö avasi neljä uutta tehdasta sekä suunnittelu- ja tuotekehityskeskusta ympäri Yhdysvaltoja. (Phillips Medisize 2020.)

Vuonna 2011 Phillips Plastics yhdistyi eurooppalaisen sopimusvalmistaja Medisizen kanssa, jolloin yhteenliittymän nimeksi tuli Phillips-Medisize. Seuraavina vuosina kansainvälistyminen jatkui muille mantereille, kun yhtiö hankki tuotantotilat Meksikon Queretarossa ja Kiinan Suzhoussa vuonna 2013. (Phillips Medisize 2020.)

Globaaliksi noussut yhtiö hankki lääketeollisuuden kehitystoimintaa yrityskaupoilla, kun Phillips-Medisizeen liittyi Tanskassa ja Iso-Britanniassa toiminut Medicom Innovation Partner sekä yhdysvaltalainen Injectronics vuonna 2014. Tästä kaksi vuotta eteenpäin Phillips-Medisizen osti kansainvälisesti tunnettu Molex, joka on KOCH Industriesin tytäryhtiö. (Phillips Medisize 2020.)

Suomessa toimivat tehtaot ovat keskittyneet Kontiolahden Lehmoon kahdelle tehtaalle, jotka työllistävät noin 600 muovialan ammattilaista. Yhteensä Phillips-Medisize työllistää noin 5400 henkilöä, 21 paikkakunnalla maailmanlaajuisesti. (Phillips Medisize 2020.)

Lehmon tehtaoiden yhteydessä toimii oma konepaja, Phillips Medisize Toolroom, joka suunnittelee ja valmistaa ruiskuvalumuottien osia sekä kokonaisia muotteja. Muottien avulla valmistetaan muovikomponentteja lääketeollisuuden lääkeannostelussa käytettäviin laitteisiin. (Phillips Medisize 2020.)

## **2.2 MBD Model Based Definition – digitaalinen tuotemäärittelyn konsepti**

Ihminen on käyttänyt valmistuspiirustuksia teknisessä kehityksessä aina pyramideista nykypäivän pilvenpiirtäjiin saakka. Valmistuspiirustus on ollut teollisuudessa selkeä ja kansainvälinen graafinen esitystapa viestiä, kuinka työ tai tuote halutaan tehtävän. Graafisen tavan kautta vaikeasti kerrottava aihe on saatu kaikille ymmärrettävään muotoon, jotta väärinymmärryksiltä ja olettamilta vältytään. Piirustukset ovat toimineet parhaillaan kaikenkattavasti, eikä lisäohjeistusta ole aina tarvittu.

1980-luvulla tietotekniikan kehittyessä, insinöörien suunnittelutyötä nopeuttivat merkittävästi uudet 3D-mallinnus- ja piirustusjärjestelmät eli CAD-ohjelmistot. Kolmiulotteisten kokoonpanomallien pohjalta ohjelmistoilla voitiin myös tehdä kaksiulotteisia kokoonpanopiirustuksia. (Quintana, Rivest, Pellerin, Venne, Kheddouci, 2010, 497.)

CAD-ohjelmistojen tullessa uudeksi normiksi suunnittelu- ja tuotekehitysprosesseissa, valmistuspiirustusten asema ensisijaisina esityksinä tuotemäärittelyyn on vähentynyt. Kolmiulotteisen mallinnuksen rinnalle on kehitetty useita mallien ja kokoonpanojen analyysijärjestelmiä ohjaamaan suunnittelua oikeaan suuntaan tai tarkastamaan suunnittelun tuloksia. Myös geometrian määrittelyssä tekninen piirustus on siirtynyt toissijaiseksi keinoksi kolmiulotteisen tuotemallin vallatessa alaa. (Quintana ym. 2010, 498.)

2000-luvulla tietoteknisten valmiuksien kasvaessa entisestään on kehityksessä päästy siihen pisteeseen, jossa mahdollisuudet kohti valmistuspiirustuksetonta tuotantoketjua ovat olemassa. Kolmiulotteisiin tuotemalleihin voidaan CAD-ohjelmistoissa lisätä mittoja, toleransseja, ja muuta valmistukseen liittyvää informaatiota yleisesti sovituin ehdoin. Vuonna 2003 Yhdysvaltain ilmailu -ja autoteollisuutta ohjaava American Society of Engineers määritteli ensimmäisen standardin (ASME Y14.41), jossa 3D-CAD-tietoja käytetään valmistus- ja tarkastuslähteinä. Kehitystarpeina kyseisillä aloilla oli poistaa tekniset valmistuspiirustukset asteittain tuotantoketjusta, nopeuttaakseen ja parantaakseen tuotteiden toimitusaikaa sekä vähentääkseen tuotekehityskustannuksia. Näistä lähtökohdista alkoi kehitys kohti malliperusteista tuotemäärittelyä, Model Based Definition (MBD). MBD:tä voidaan pitää loogisena vaiheena siirtymässä 2D-maailmasta kolmiulotteiseen tuotemäärittelyyn. (Quintana ym. 2010, 498.) Mallipohjaisen tuotemäärittelyn keskeisin tavoite on 3D tuotemallin soveltuvuus kaikkien tuotetietojen toimittamiseksi tuotantoketjun osille, joita ne tarvitsevat suorittaakseen oman osansa valmistuksesta ja toimitusjaksosta. (Quintana ym. 2010, 498.)

Suunnittelun yhteydessä MBD malliin liitettävien tietojen tulisi 3D geometrian lisäksi sisältää kaikki annotaatiot, tuotteen mitat ja toleranssit, jotka käyttökelpoiseen malliperusteiseen määrittelyyn vaaditaan ilman erillistä valmistuspiirustusta. Luodut kolmiulotteiset merkinnät sijoitetaan tasomaisiin näkyymiin, merkintätasoiiksi, josta merkintöjä voidaan haluamansa mukaan rajata näkyviin 3D-ympäristössä, joko CAD-ohjelmistolla tai erillisellä katseluohjelmistolla.



Uusien teknologioiden ja toimintatapojen käyttöönoton on oltava aina perusteltua myös liiketoiminnan kannalta. Ramesh on miettinyt MBD:tä käsittelevässä e-kirjassaan (2010) syitä malliperusteisen tuotemäärityksen kehitykselle sekä nyky maailman trendien että markkinatekijöiden perusteella.

### **nykytrendit**

- teknologiatrendit: langaton ja edullinen 3D tekniikka.
- talouskehitys: Kustannuspaineet, kutistuvat resurssit.
- sääntelytrendit: Salaus, arkistointi.
- kulttuurisuuntaukset: tiedon kokoaikainen saatavuus, yhtäläisen tiedonsaanti koko tuotantoketjulle.

### **markkinatekijät**

- tarpeet ja vaatimukset: Vähentynyt aika markkinointiin, prosessitehokkuus, tuonnin houkuttelevuus.
- vaihtokustannukset: Toimittajan / työkalun yhdistäminen
- yritysten arvoketjujen toimijat: Suunnittelu, mallien uudelleen käytön nopeuttaminen, tuotevaihtoehdot.
- kilpailijat: Uudet tulokkaat, mataloitunut kynnys tulla markkinoille.

(Ramesh, M. 2010, 6.)

## **2.2.1 Hyödyt**

Malliperusteisen tuotemäärityksen avulla on kaavailtu saavutettavan hyötyjä monilla eri osa-alueilla niin tuotekehityksessä kuin valmistuksessa. Tämän hetken suunnittelukäytännössä, jossa julkaistaan sekä 3D-tuotemalli - että saman tuotteen osan valmistuspiirustus, on olemassa tulkinnallisten ristiriitojen riski. Sähköisellä MBD määrityllä ristiriitatilanteita voitaisiin minimoida mallin ja piirustuksen väliltä. Näin yksi malli palvelisi nykykäytäntöä tehokkaammin tuotekehitystä, tuotannon jatkotoimia kuin sähköistä arkistointiakin. (Quintana ym. 2010, 499.)

Wu (2010.) kertoo MBD:n hyötyjä käsitelleessä artikkelissaan teknisen viestintätavan muutoksesta. Nykypäivän maailmassa lähes kaikki visualisointi tapahtuu kolmiulotteisesti. Hänen mukaansa kolmiulotteisen mallin muutos

kaksiulotteiseksi piirustusmalliksi on turha kiertotie nykytekniikoilla, koska teknistä valmistuspiirustusta käyttävä henkilö joutuu muuntamaan sen mielessään takaisin kolmiulotteiseksi. Tuotemallia käyttävien henkilöiden lisäksi 3D tuotemallia tarvitsevat uudet teknologiat, joissa tiedon tulee olla koneiden ymmärtämää. Näistä esimerkkeinä artikkelissa mainitaan kolmiulotteista tuotemallia valmistukseen käyttävä 3D-tulostus ja arkistojen tiedoista koottavat Big Data -analyysit. Kokonaisuudessaan MBD:n avulla olisi mahdollista luoda kilpailuetuja muihin valmistajiin nähden.

Malliperusteisen tuotemäärittelyn edut ulottuvat myös lopputuotteen laatuun. Yhdysvaltalaisen National Institute of Standards and Technologyn (NIST) vuonna 2016 suorittamissa rinnakkaistesteissä, joissa piirustus- ja malliperusteista valmistustapaa verrattiin toisiinsa samoilla tuotteilla aina tuotekehityksestä valmiiksi tuotteeksi, saavutettiin kymmenien tuntien erot malliperusteisen hyväksi. Tutkimustulosten päätelmänä ajan säästöä tärkeämpänä tekijänä pidettiin laatueroja tuotantoketjujen välillä. Malliperusteisessa valmistuksessa lopputuotteessa olevat virheelliset piirteet vähenivät. (Hedberg, Feeney & Maggiano 2016, 5–8.)

### 2.2.2 Haasteet

Malliperusteisen tuotemäärittelyn avulla saavutettavissa olevien hyötyjen vastapainona on liuta haasteita, jotka yritysten tai teknologioiden kehittäjien on ratkaistava, jotta yhä useammat käyttäjät voisivat siirtyä malliperusteisuuden tuotantoketjussaan. Uski (2020.) kertoo artikkelissaan malliperusteisen tuotemäärittelyn käyttöönottoon liittyvistä ongelmista, joita havaittiin valmistajien ja kolmen tutkimuslaitoksen yhteisessä, älykkääseen tuotantoketjuun liittyvässä tutkimushankkeessa. Valmistajien tuotantoketjujen kyvyissä ottaa vastaan ja hyödyntää digitaalista tietoa oli suuria eroavaisuuksia. Näitä esteitä pystyttäisiin artikkelin mukaan alentamaan investoimalla ohjelmistoihin ja koulutukseen, sekä yhdenmukaistamalla järjestelmiä. Investointihalukkuus taas riippuu yrityksen taloudellisesta tilanteesta, toimijan roolin koosta tuotantoketjun osana. Haasteita MBD:n käyttöönotolle on jaettu kolmeen eri pääryhmään: tekniset, prosessi -ja oikeudelliset haasteet. (Uski, Pulkkinen, Hillman & Ellman 2020, 5–7.)

Teknisistä haasteista tyypillisimpiä ovat ohjelmistojen erilaisuudet sekä vaikeudet tiedonsiirrossa. Esimerkiksi tuotantoketjussa asiakkaan ja alihankkijan ohjelmistojen välille on löydettävä kummallekin yhteensopiva tiedostomuoto tiedonsiirtoon, jotta kommunikaatio toimisi. Lisäksi malliperusteisen tuotemäärittelyn standardit asettavat sisältövaatimuksia 3D-

tuotemallien rakenteelle, kuten malleissa näkyvissä oleville pääelementeille, tuotetiedoille ja tuotteen hallinnalle. (Quintana ym. 2010, 501–502.)

Haasteita prosessiin voi luoda jatkokäyttäjien mahdollisuus päästä tietoihin, jollei CAD-ohjelmistolisenssejä ole käytössä kaikille tuotantoketjun vaiheille. Onneksi kevyemmät 3D-tuotemallien katseluun tarkoitetut ohjelmistot ratkaisevat ongelman helposti, kunhan MBD tuotemalleista tarvittavan sisällön näkyvyyteen voi luottaa. Toinen prosessiin liittyvä haaste on tietoturva. Useimmat suuret yritykset eivät halua tuotemallejaan lähetettävän kokonaisina, kaikki piirteet käsittävinä 3D-tuotemalleina, vaan karsittuina versioina, jotka sisältävät juuri alihankkijan tarvitseman tiedon verran, eikä yhtään enempää. Myös yleisellä yritystoiminnan tasolla 3D-tuotemallien sijaan valmistuspiirustukset ovat olleet yleisin tapa käsitellä ja tallentaa tietoja, esimerkiksi tarjouspyyntöihin, sertifikaatteihin tai tuotteiden validointiin ja laskemiseen tuotantoon. (Quintana ym. 2010, 503.)

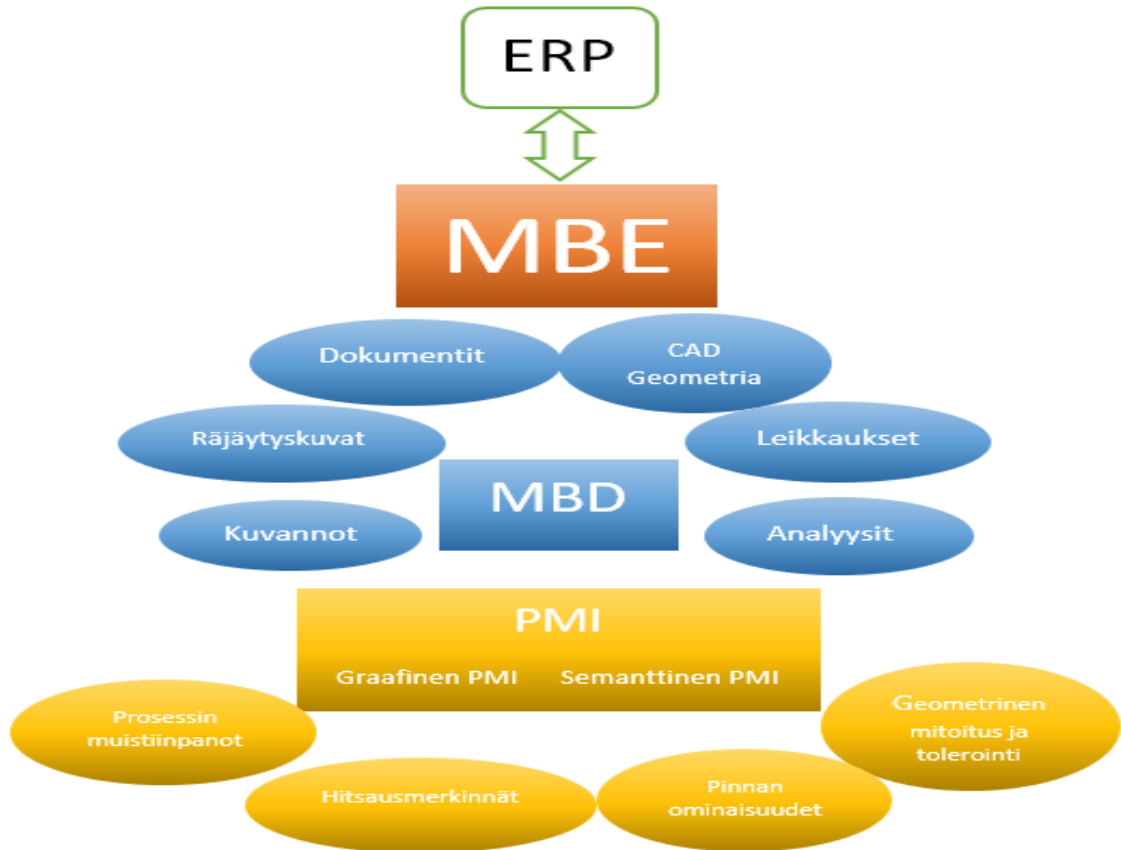
Näiden lisäksi oikeudelliset kysymykset nousevat esiin teollisuuden aloille, joihin valtiovallan kautta kohdistuu erittäin tiukkaa valvontaa. Tällaisia ovat muun muassa lääketieteellinen-, maanpuolustus-, lentokone- ja ajoneuvoteollisuus. Vaikka monet näistä aloista kulkevat kehityksen kärjessä myös MBD:n osalta, on viralliset dokumentit viranomaisten suuntaan toimitettava toistaiseksi paperiversiona. (Quintana ym. 2010, 502.)

### **2.3 MBE - Model based enterprise**

Malliperusteista tuotemäärittelyä laajemmaksi, koko yrityksen toimintaa kattavaksi toimintamalliksi kutsutaan nimellä Model Based Enterprise (MBE). Malliperusteisen yritystason toimintamalli tarkoittaa suuntausta, jossa digitaalinen kolmiulotteinen tuotemalli on käytössä mahdollisimman monissa yrityksen toiminnoissa. (Rapinoja 2016, 2.) Sen avulla kolmiulotteista tuotemallia ja sen sisältämää teknistä tietoa hyödynnetään organisaatioissa viestinnän tärkeimpänä lähteenä, jolla ohjataan ja koordinoidaan kaikkia suunnittelun -ja tuotannon toimintoja koko tuotteen elinkaaren ajan. Näin tuotekehitykseen, tuotantoon ja tukitoimintoihin käytettäviä varoja ja aikaa voidaan vähentää. (Frechette 2011, 1.)

MBE:n tuoma digitalisaatio on elintärkeää kansainvälisillä markkinoilla toimiville yrityksille, joissa suunnittelu ja tuotanto halutaan riippumattomiksi konkreettisista valmistuspiirustuksista. Keskeinen periaate MBE:ssä on, että tuotetiedot luodaan kerran ja kaikki organisaation työntekijät voivat käyttää niitä uudelleen. (Frechette 2011, 1.) Vaikka käyttö on sallittua kaikille, on tärkeää muistaa, että vastuu tuotetietojen eheydestä on jokaisella, jolla on oikeudet lisätä tai muuttaa mallin tietoja. Standardit auttavat luomaan pohjan tuotemallien hallintaan. (Gamba ym. 2017, 612–613.)

On ymmärrettävä, että MBE on koko yrityksen organisaatiota koskeva toimintoina laajempi käsite kuin malliperusteinen tuotemäärittely, MBD, joka sisältää tuotesuunnittelun 3D geometrian, kokoonpanot ja annotaatiot. Näin se korvaa 2D piirustuksen suunnitteludokumentaationa. MBE taas yhdistää työskentelytavat ja prosessit MBD:n avulla muihin yrityksen toimintoihin. (Jackson, 2016.) Yrityksen muiden liiketoimintajärjestelmien on kyettävä hyödyntämään MBE:n kautta tuotuja mallitietoja. Tästä esimerkkinä Enterprise Resource Planning (ERP) toiminnanohjausjärjestelmät, joiden pitäisi pystyä poimimaan tarvittavat tiedot tuote- ja prosessimalleista hyödyntääkseen niitä materiaali- ja tarvike tilauksissa. (Frechette 2011, 2.)



**Kuvio 1.** Termien määrittely yrityskulttuurin sisällä. (Frechette 2011, 2., Rapinoja 2016, 2.)

Rakentaakseen MBE:n kaltaisen tietoverkon koko yritystä hyödyttäväksi, suunnittelu- ja valmistusorganisaatiot tarvitsevat tehokkaat ratkaisut tuotetietojen ja tuotekehityksen hallintaan. (Camba ym. 2017, 611.) Tällaisia kutsutaan Product Lifecycle Management (PLM) tiedonhallintajärjestelmiksi, joiden saatavissa ovat tuotetiedot, prosessit ja liiketoimintajärjestelmät niiden käyttäjille koko yritystasolla. PLM ohjelmistojen kautta tuote- ja tuotekehitystietoa hallitaan koko sen elinkaaren ajan aina ideoinnista suunnitteluun ja valmistuksesta tuotteen huoltoon ja lopulta hävittämiseen. (Siemens, 2021.)

Siemens (2021) on viitannut sivuillaan kolmeen pääkohtaan PLM tietojärjestelmien hyödyistä ja käyttötavoista, joista alla luetelma ja **kuvio 2** järjestelmän rakenteesta.

**Tietostrategia:** PLM järjestelmän avulla voidaan yritykselle rakentaa yhtenäinen tietoverkko yhdistämällä järjestelmiä.

**Yritysstrategia:** Kansainvälisille organisaatioille tiedonhallintajärjestelmä luo yhteistyömahdollisuuden yli valtiorajojen tuotteiden suunnittelussa, valmistuksessa ja tuotetuessa. Myös parhaita työskentelykäytäntöjä ja kerättyä oppia voidaan jakaa helpommin.

**Digitalisaatio:** Digitaalisen tietoverkon avulla yritys voi vastata paremmin nykypäivän tiedonkulun vaatimuksiin.



**Kuvio 2.** PLM tiedonhallintajärjestelmän arkkitehtuuri. (Siemens, 2021.)

## 2.4 PMI – tuotetieto

Onnistuakseen mallipohjainen tuotemäärittely (MBD), vaatii mallinnetun nimellisen geometrian lisäksi valmistukseen ja tarkastukseen tarvittavia lisätietoja. Näitä lisätietoja kutsutaan nimellä Product and Manufacturing Information (PMI) eli tuote- ja valmistustiedot. PMI tiedot lisätään 3D CAD-järjestelmässä mallinnettuun komponenttiin. (Hedberg, Lubell, Fischer, Maggiano & Feeney 2016, 1.)

Tuote- ja valmistustiedot koostuvat merkinnöistä ja attribuuteista, jotka liittyvät CAD-mallin muotoihin ja pintoihin. Tällaisia merkintöjä ovat mm. mallin geometrinen mitoitus ja tolerointi, eli GD&T-tiedot ja muutoin valmistusta varten vaaditut pintarakennetta, materiaalia, viimeistelyvaatimusta, prosessia tai hitsausta kuvaavat merkinnät ja symbolit. (Lipman & Lubell 2015, 15.)

PMI tiedot ovat keskeinen osa määriteltäessä digitaalista tuotemallia ja siirryttäessä kohti automatisoidumpaa valmistusta (Lipman, Lubell 2015, 15.) Digitaalinen tuotemäärittely PMI tietojen avulla ei automaattisesti tarkoita helpompaa mallin luettavuutta. Suunnittelijan on syytä rajata näkyvät tiedot eri tasoille, jotta mallin luettavuus säilyy hyvänä. (Bijnens, Cheshire 2018, 309.) Olennaista tuote- ja valmistustietojen lisäämisessä käyttäjän, esimerkiksi asiakkaan näkökulmasta, on lisätä malleihin vain kriittisimmät ominaisuudet ja näiden mittojen toleranssit (Protolabs 2017).

PMI tiedot voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin. Graafinen PMI on käyttäjälle näkyvää tietoa, kun taas semanttinen PMI on digitaalista, automaatioon tähtäävää koneen lukemaa tietoa (Nquyen 2020). Näistä kahdesta sekä PMI:n vaikutuksesta valmistukseen ja mittaukseen kerrotaan alla olevissa osioissa.

#### **2.4.1 Graafinen PMI**

Graafinen PMI, eli ihmisen luettavissa olevat tuote- ja valmistustiedot ovat välivaihe kohti täydellistä digitaalista tuotemäärittelyä MBD:tä. Esitystavassa mitat ja toleranssit sijoitetaan tuotemalliin pelkkinä visuaalisina symboleina ja toimivat määrittelynä piirustuksen merkintöjen tavoin. Vaikka graafinen PMI tieto siirtyy hyvin sidosryhmien välillä, se ei ole koneiden luettavissa, vaan vaatii aina ihmisen tulkinnan ja soveltamisen esimerkiksi valmistusta ajatellen myöhempää käyttöä varten. (Bijnens, Cheshire 2019, 312.)

#### **2.4.2 Semanttinen PMI**

Puhuttaessa semanttisesta tuotetiedosta on ensin selvitettävä, mitä semantiikka tarkoittaa. Suomalaisen asiasanasto- ja ontologiapalvelu Finton (2021) mukaan semantiikka on yhtä kuin merkitysoppi. Merkityksellisen semanttisesta tuotetiedosta (Semantic PMI) tekee sen kyky esittää mallin määrittelytietoja yhtä lailla ihmisen kuin tietokoneohjelmien ymmärtämässä muodossa.

Koneiden ymmärtämässä muodossa 3D-malliin liitettyjä semanttisia PMI tietoja voidaan käyttää suunnittelun (CAD), valmistuksen (CAM) tai mittauksen (CMM) toimintojen automatisointiin. (Hedberg ym. 2016, 1.) Näiden osa-alueiden yhdistäminen vie kohti todellista valmistusautomaatiota, joka on digitaalisen mallipohjaisen tuotemäärittely MBD:n tavoite.

Kun tuotetieto luodaan semanttisena, sisältäen kaiken tarpeellisen tiedon, ihmisen tulkinnan tarve valmistuksen tulevissa vaiheissa vähenee merkittävästi. Semanttisesti luodun PMI esityksen avulla niin CAD ohjelmistolle kuin tulevissa valmistuksen vaiheissa käytettäville laitteille on täysin selvää mitkä merkinnät viittaavat mihinkin malligeometrian piirteeseen. Esimerkiksi määritettäessä mittatoleranssi mallin sivulle tai kohtisuoruustoleranssi kahden pinnan välille, on CAM- tai CMM-ohjelmistoille selvää mihin piirteisiin luodut merkinnät käsillä olevassa konkreettisesti työkappaleessa vaikuttavat ja osaavat määräytyä ehdoista niitä hyödyntää. (Bijnens, Cheshire 2018, 312.)

Laajoista käyttömahdollisuuksista huolimatta, semanttisen tuotetiedon liittämiseen ja käyttöön liittyy yhä toimivuusongelmia. Vuosina 2012–2015 Yhdysvaltalainen National Institute of Standards and Technology (NIST) suoritti laajoja semanttisten GD&T tietojen käyttötöstejä yhteistyössä suurimpien CAD ohjelmistotalojen kanssa. Suurimmat virheet testeissä voitiin jakaa kolmeen eri ryhmään rakenteen, parametrien ja geometrian osalta. Rakenteessa havaittiin usein virheellisiä mittojen yhdistelmiä piirteiden merkintäkenttä FCF:ssä (Feature Control Frame). Parametreissa ongelmia tuottivat mittojen puuttuminen tai graafiset tekstiosat, joita ei voitu käyttää semanttisesti. Taas geometrisesti merkinnät saattoivat kohdistua väärin geometrisiin kokonaisuuksiin. (Lipman, Filliben 2020, 1252, 1262.)

## **2.5 Malliperusteiseen tuotemäärittelyyn liittyvät standardit**

Teknisessä viestinnässä standardien tarkoitus on määritellä yhteisiä toimintatapoja sekä laatia vaatimuksia, hyviä käytäntöjä ja ratkaisuja työn tueksi. Jotta käyttäjät ymmärtäisivät toistensa malleja ja 3D mallien rakenteet olisivat toistensa kaltaisia, auttavat avoimet standardit ohjelmistoja saavuttamaan yhteen toimivuuden toistensa välillä. (Lubell ym. 2012, 4.) Standardien avulla on määritelty sääntöjä mallien esitystapoihin esimerkiksi viivatyypeille ja leveyksille, projektioille sekä leikkauskuvannoille. Tämän lisäksi ne antavat myös mitoitus- ja tolerointiohjeita. (Rapinoja 2016, 14.)

Standardien laatimisesta vastaavat standardisoimisliitot yhdessä teollisuuden toimijoiden kanssa. Valmiille standardeille haetaan hyväksynnät joko kansallisesti, kansainvälisesti tai sekä – että molempia. (Lubell ym. 2012, 4.) Ensimmäisenä mallipohjaiselle tuotemäärittely MBD:lle soveltuvan standardin loi yhdysvaltalainen insinöörijärjestö American Society of Mechanical Engineers (ASME) vuonna 2003. Standardi syntyi pohjoisamerikkalaisen auto- ja lentokoneteollisuuden tarpeisiin. ASME Y14.41 -standardi määrittää perusteet tavoille merkitä malleja GD&T-tiedoin sekä tarkastella niitä kolmiulotteisesti.

Pohjana uudelle malliperusteiselle standardille toimivat aiemmat teknisten piirustusten luontiin tarkoitetut ASME standardit, joten toleranssien ja mitoitusmerkintöjen muodostamistapa säilyi muuttumattomana. (Quintana ym. 2010, 498.9)

Vuonna 2006 kansainvälinen standardisoimisliitto ISO (International Organization for Standardization) sai valmiiksi oman malliperusteista tuotemäärittelyä koskevan standardinsa, ISO 16792, jonka pohjana ASME 14.41 toimii. Kyseinen standardi on vahvistettu myös suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi mallipohjaiseen tuotemäärittelyyn. (SFS ISO 16792, 2021, 5.)

Sillä ASME 14.41 ja ISO 16792 standardeista kumpikin on luotu olemassa olevien standardien pohjalta, on niitä kehitettäessä ollut tärkeää, etteivät opitut käsitteet olisi ristiriidassa eri teknisten dokumenttien esitysmuotojen välillä. (Garland, Wade, Glithro, Palmer-Smith, 2019, 3.) Kumpikin standardeista tukee kahta esitystapojen soveltamismenetelmää: pelkän mallin käyttöä sekä digitaalisen mallin ja piirustuksen käyttöä. (SFS ISO 16792:2015, 5.; ASME Y14.41–2003, 1.)

Vaikka standardien peruskäsitteet ovat yhteneväiset, eroavat ne toisistaan etenkin geometrinen toleranssien esitystavoissa. Kun ASME 14.41 standardissa geometrinen mittaus- ja toleranssiedot merkitään standardin ASME 14.5 pohjalta, on ISO 16792 standardin esitystapa samoille tiedoille oman järjestönsä standardin ISO 1101 mukainen. (Garland ym. 2019, 3.) Alla olevissa **tauluoissa 1 ja 2** on esitetty sekä ISO 16792 että ASME 14.41 standardeihin liittyvät muut tärkeimmät standardit selostuksineen.

STANDARDI	Standardin kuvaus
ISO 128-1 (all parts)	Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet.
ISO 129-1:2004	Tekniset piirustukset. Mittojen ja toleranssien esittäminen.
ISO 1101:2017	Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit. 2014
ISO 5459:2011	Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometrinen tolerointi. Peruselementit ja peruselementtijärjestelmät. 2013
ISO 11442:2006	Tekninen tuotedokumentointi. Dokumentinhallinta. 2010
ISO 14405-1	Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Mittatolerointi. Osa 1: Pituusmitat

**Taulukko 1.** ISO 16972 liittyvät muut standardit (ISO 16792:2015, 112.)

STANDARDI	Standardin kuvaus
ASME Y14.1-1995 (R2002)	Decimal Inch Drawing Sheet Size and Format
ASME Y14.1M-1995 (R2002)	Metric Drawing Sheet Size and Format
ASME Y14.2M-1992 (R1998)	Line Conventions and Lettering
ASME Y14.3M-1994 (R1999)	Multiview and Sectional: View Drawings
ASME Y14.4M-1989 (R1999)	Pictorial Drawing
ASME Y14.5M-1994 (R1999)	Dimensioning and Tolerancing
ASME Y14.8M-1996 (R2002)	Castings and Forgings
ASMEY14.35M-1997	Revision of Engineering Drawings and Associated Documents

**Taulukko 2.** ASME 14.41 liittyvät muut standardit (ASME, 2003, 92.)

Kummatkin standardeista ovat saaneet kahden vuoden sisällä päivitykset versioihinsa, jotka korvaavat aiemmat painokset. Huhtikuussa 2021 on julkaistu uusi ISO 16792:2021 Technical product documentation — Digital product definition data practices. ASME sai uusimman päivityksen toissa vuonna, versiona ASME 14.41-2019.

## 2.6 MBD:n käyttösovellutuksia tuotantoketjussa

Saavuttaakseen laajempaa hyötyä malliperusteisesta tuotemäärityksestä koko tuotantoketjussa, tulee jokaisen valmistuksen prosessin kyetä käyttämään samoja semanttisia, eli koneluettavia, tuotetietoja kuin CAD suunnitteluohjelmiston. Usein koko tuotantoketju ei pysty käyttämään työvaiheissaan suunnitteluohjelmiston alkuperäistä natiivimallia, joten yhteensopivuutta haetaan neutraaleista tiedostomuodoista, joilla tiedonsiirto eri järjestelmien välillä onnistuu. Näitä ovat muun muassa STEP tiedostomuodot. (Hedberg ym. 2016.)

Kun eri työvaiheiden yhteensovittaminen onnistuu, löytyy malliperusteiden tuotemäärityksen hyötyjä toimintojen osittaisella automatisoinnilla. Tällaisia ovat esimerkiksi CAM työstöratojen suunnittelu ja tekninen mittaus CMM, joiden ohjelmointia voidaan automatisoida mallipohjaisen valmistuksen Model Based Manufacturing (MBM) ja mallipohjaisen tarkastuksen Model Based Inspection (MBI) keinoin. (Doorackers 2019, 3.) Myös toleranssianalyysien laadinta

nopeutuu ja luotettavuus paranee suoraan 3D-mallista luodulla analyysillä (Reese 2019).

Tuotantoketjun eri osien ottaminen mukaan MBD:n piiriin voi vähentää inhimillisten virheiden määrää, parantaa tuotteiden laatua ja hienosäätää valmistusprosesseja. Mahdollisuudet näiden tavoitteiden saavuttamiseen ovat tärkeimpiä syitä kehittää tuotantoa kohti malliperusteista tuotemäärittelyä ja Industry 4.0:aa, teollisuuden kehityksen neljättä aaltoa. (Doorackers, 2019, 3.)

### **2.6.1 Toleranssianalyysi CAE**

Suunnittelussa kappaleiden 3D-mallinnuksen ja MBD-tuotemäärittelytietojen sijoittamisen jälkeen luoduille kokoonpanoille on mahdollista tehdä toleranssianalyysit 3D-annotaatioiden pohjalta. (Rapinoja 2016, 6.)

Toleranssianalyysit ovat tärkeä osa tuotesuunnittelua, sillä ne määrittävät tuotteen valmistamisen haastavuuden ja sen, kuinka kannattavaa tuote on käytetyillä toleranssiarvoilla valmistaa. Aiemmin toleranssianalyysit on luotu piirustuksien toleransseista laskentataulukoiden avulla, mutta niiden toimivuus on koettu vaikeana. MBD määritelty 3D-malli sisältää semanttisesti kaikki tuotevaatimukset ja kokoonpanomääritykset, joita valmistus tarvitsee tehdäkseen tuotteen. Näiden tuotetietojen lisääminen mahdollistaa toleranssianalyysihin tarkoitettujen ohjelmistomoduulien ottavan huomioon niin sallitut poikkeamat kuin pintojen ja osien väliset suhteet. (Werst 2015.)

### **2.6.2 Työstöratojen laadinta CAM**

Mallipohjaisen valmistuksen (MBM) avulla voidaan nopeuttaa työstöratojen ohjelmointia. Tällöin ohjelmointi tapahtuu MBD määritellyn mallin pohjalta, eikä valmistuspiirustusta erikseen tarvita. Työ nopeutuu automatisoimalla suunnittelua. Se on mahdollista, koska nykyaikaiset CAM-ohjelmistot kykenevät havaitsemaan mallin piirteisiin määriteltyjä toleransseja ja mitoituksia. Näin ohjelmoijalle jää enemmän aikaa keskittyä tuotantoon tuleviin haastavampiin osiin ja työstökoneiden kuormitusastetta on mahdollista nostaa. (Doorackers 2019, 7.)

Havaitsemisen mahdollistaa CAM-ohjelmistoissa olevat Feature Based Machining (FBM) ohjelmistomoduulit, eli ohjelmistoissa olevat itsenäiset toiminalliset osat, joiden avulla CAM-ohjelmistolle voi opettaa kullekin piirteelle,

esim. reikä, viiste, potero yms. paras työstötapa. Näin ohjelmisto muistaa kullekin piirretyypille luodut työstötavat ja asettaa ne jatkossa automaattisesti sopiviksi valittaessa 3D-mallin piirteitä. Moduulien tarkoituksena on tehdä CAM-ohjelmoinnista entistä nopeampaa, helpompaa ja standardoidumpaa. Vaikka ominaisuuksien käyttö on jo mahdollista, nykytilanteessa ohjelmistomoduurien tekniikat vaativat helposti toimiakseen vielä standardointia itsessään. Myös työstöparametrien asettamisen monimutkaisuus ja työstötapojen opettamisen säännöt ovat osittain kankeita reaali maailmaan. (Marra, Pascarelli, Lazoi, Corallo & Micchetti 2018, 360.)

### 2.6.3 Laadun varmistus CMM:llä

MBD:tä hyödyntämällä myös teknistä mittausta voidaan automatisoida samoin kuin työstöratojen CAM ohjelmointia. Mittausprosessin, eli mittaohjelmien suunnittelun ja itse mittauksen automatisoinnilla voidaan vähentää ratkaisevasti inhimillisiä virheitä ja työskentelyaikaa. (Hedberg ym. 2016, 1–2.)

Tarvittavilla semanttisilla PMI tiedoilla määritellylle 3D mallille voidaan suunnitella mittaohjelma jo useista CAD-ohjelmistoista löytyvillä CMM mittaohjelmien tekoon kehitetyillä moduuleilla. Tavassa moduuliin tuodaan mitattava 3D -malli, halutun CMM mittakoneen konemalli sekä käytettävät mittakärjet. Mitattavasta työkappaleesta linkitetään siinä olevat PMI tiedot, joille ohjelmisto laskee automaattisesti sopivat mittaradat ja mittausjärjestyksen. (Bentley 2018.)

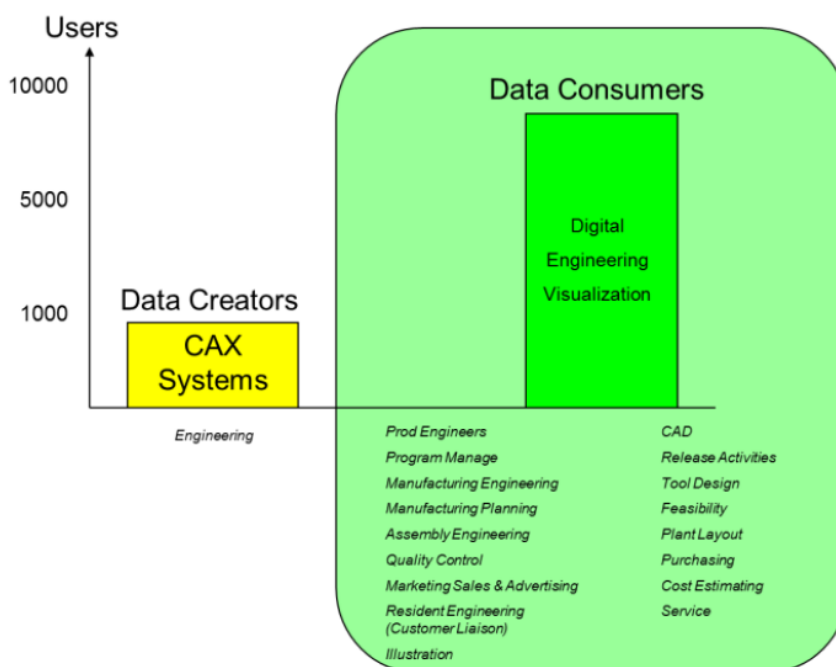
Hyvänä esimerkkinä MBD:n hyödyistä tekniselle mittaukselle toimii Uskin, Pulkkinen, Hillmanin ja Ellmanin tutkimusraportti MBD:n käyttöönoton haasteista (2020, 11), jonka osana kerrotaan Tampereen ammattikorkeakoululla suoritetusta pilottiprojektista MBD:n hyödyntämiseen teknisessä mittauksessa koordinaattimittakoneella. Projektissa vertailtiin perinteistä, ilman PMI-dataa, tapahtuvaa koordinaattimittakoneella työskentelyä PMI-datalla varustetun mallin kanssa työskentelyyn nähden.

Perinteisessä tavassa mittaohjelma rakennettiin valmistuspiirustusten pohjalta, kun taas PMI-datalla varustetusta mallista ohjelmisto laskee mittaradat automaattisesti. Tulokset olivat positiivisen lupaavia. Mittauslaboratoriossa suoritettujen testien perusteella havaittiin PMI-datan avulla mittaamisen olevan 3–4 kertaa nopeampaa perinteiseen tapaan nähden ja nopeus korostuu mitä enemmän mitattavia elementtejä on. Mittaamisen nopeus parantaisi myös tuotannon läpimenoaikaa ja käytön helppous antaisi mahdollisuuden kouluttaa enemmän henkilöitä käyttämään mittakonetta. Testissä tärkeä huomio

pienempien toimijoiden suhteen on, että mitä pienempi mitattava tuotantoerä, sitä suurempi hyöty MBD:n käytöstä mittaamiselle on.

## 2.7 Tiedonsiirtoformaattit

Tiedonsiirtoformaattien, eli tiedostomuotojen, avulla kolmiulotteista tuotteenmäärittelytietoa voidaan tallentaa ja siirtää eri toimijoiden välillä. Tuotteita kehitettäessä 3D-muodossa tuotannollisiin ja teknisiin tarpeisiin, tiedot tallennetaan useimmiten käytetyn CAD-ohjelmiston alkuperäisessä, natiivimuodossa. Kuitenkaan enin osa toimijoista tuotantoketjun eri vaiheissa eivät käytä työssään CAD-ohjelmistoja, mutta tarvitsevat osan tiedoista. (Emmer, Fröhlich & Stjepandic 2013, 584–585.) Tilannetta havainnollistaa kaavio 2, josta käy ilmi tuotetietojen käyttäjäkunnan olevan jopa 10 kertainen tuotemallien luojaan nähden. (Handschuh, Katzenbach & Vettermann 2017.)



**Kaavio 2.** – Visuaalisen tuotetiedon käyttäjäkunnat suhteellisine määrineen. (Handschuh ym. 2017.)

Tyypillisimpiä tuotantoketjussa tapahtuvia tiedonsiirtoja ovat suunnitteluosastojen sekä yrityksen ja alihankkijoiden välinen tiedonsiirto, dokumentointi ja tiedostojen arkistointi sekä tiedostojen haku ja tallennus

tuotetiedonhallintajärjestelmissä, joita kutsutaan nimellä Product lifecycle management (PLM). (Emmer ym. 2013, 584–585.)

Maailmanlaajuisesti toimiville yrityksille tarkka ja yhdenmukainen tiedonsiirto on ensiarvoisen tärkeää. (Xu 2009, 15.) Tällöin tallennusmuodoksi tarvitaan neutraaleja, standardoituja 3D-formaatteja, joiden käyttö vähentää yritysten kustannuksia ja parantaa kilpailukykyä. Neutraalin tiedostomuodon avulla tarvittavia tuotetietoja voi tarkastella esimerkiksi kevyemmällä katseluohjelmilla tai toisilla CAD ohjelmistoilla. (Emmer ym. 2013, 584–585.)

Kolmiulotteisia tiedonsiirtoformaatteja on useita ja mukana siirtyvien tietojen määrä ja laatu riippuu formaatista. Rapinoja (2016, 7.) on laatinut raportissaan taulukon mukana kulkevien tietojen tyypeistä. Lisänä taulukon laadintaan on otettu tietoa Caillet (2011.) kertomasta liittyen STEP formaatteihin.

Siirrettävä tieto	Tiedonsiirtoformaatti						
	Natiivi	STEP AP 203	STEP AP 214	STEP AP 242	JT	Edrawing	3D-PDF
3D Geometria Natiivi	X	X	X	X	X		
BREP geometria (Boundary Presentation)		X	X	X	X		
Tesselöity geometria (Tesselation)				X	X		
3D-malli katseltava			X	X	X	X	X
Piirrehistoria	X			X	X		
Mitoitus	X	X	X	X	X	X	X
Annotaatiot	X		X	X	X	X	X
Kokoonpanot	X	X	X	X	X	X	X
Tallennetut kuvannot	X			X	X	X	X
Leikkauskuvannot	X				X	X	X
Räjätyskuvannot	X				X	X	X
Attribuutit	X				X	X	X
Osaluettelot	X					X	X
Liitetiedosto							X
Video (kokoonpano/toiminto)	X					X	X

**Taulukko 3.** – Eri tiedonsiirtoformaatit ja niiden mukana siirtyvät tiedot. (Rapinoja 2016, 10.; Caillet 2011.)

### 2.7.1 JT

JT (Jupiter Tessellation), on ISO standardoitu ja neutraali, teollisuuden 3D-tiedonsiirtoformaatti, jota käytetään teollisuudessa tuotteiden visualisointiin, CAD-tietojen vaihtoon kuin tuotetiedon pitkäaikaissäilyttämiseen. (Siemens 2019, 17.)

Alun perin JT-formaatin kehittivät yhteistyössä Engineering Animation Inc. sekä Hewlett Packard. Kehitteillä ollut formaatti kulki nimellä Direct Model Toolkit. Yrityskauppojen myötä formaatti siirtyi alkuperäiskehittäjiltä 3D -ja 2D-tuotetiedon hallintaohjelmistoja kehittävän UGS-yhtiön kautta Siemens AG:lle vuonna 2007. Yhtiö käyttää JT:tä yleisenä tuotetiedon yhteensopivuusformaattina ja tietojen arkistointimuotona kaikissa ohjelmistoissaan. Yhteistyössä avointen digitaalisten standardien kehitykseen erikoistuneen Prostep iVip yhdistyksen kanssa Siemens sai vuonna 2012 JT formaatilleen kansainvälisen standardoinnin, joka on muotoa ISO 14306:2012 (Fileformat 2020.)

JT on formaattina binäärimuotoinen, eli numeroista yksi ja nolla koostuvaa kahdeksanmerkkistä jonoa, jonka tietokone ymmärtää. CAD ohjelmistoilla luodut geometriat ovat yksi tärkeimmistä piirteistä, jota teknisessä tuotetiedossa halutaan esittää. Geometrioita voidaan tallentaa JT-tiedostoon yksittäin tai yhdessä. (Emmer ym. 2013, 586) Esitysmuotoja ovat seuraavat:

- Boundary Representation (BREP): Tilavuusmallin reunaesitys on tarkin esitysmuoto, jossa kappaleet kuvataan yhtenäisinä malleina (solid) ja pintoina (surface) CAD-järjestelmässä. JT-tiedostoksi tallennettu BREP geometria on pakattuna vain murto-osa alkuperäisen BREP-tiedoston koosta.
- Tessellated Geometry: Geometriamuoto, jossa pinnat on jaettu monikulmioihin. Tesselöidyn mallin tarkkuutta Level Of Detail (LOD) voi JT:ksi tallennettaessa säätää; Mitä pienempi yksittäinen monikulmio, sitä tarkempi malli tallentuu.
- Ultra-Lightweight Precise (ULP): Uusin geometrian pakkausmuoto on JT ULP, joka julkaistiin vuonna 2008 ja jonka avulla datan määrä voidaan pienentää lähes sadasosaan alkuperäisten tiedostojen koosta. (Handschuh ym. 2017.)

Useimpien CAD-ohjelmistojen lisäksi JT formaattiin tallennettuja tiedostoja voidaan avata useilla ilmaisilla katseluohjelmistoilla. Näistä esimerkkeinä mm. JT2Go, JTOpen, Autodesk Design Review tai LiteBox3D -ohjelmistot.

## 2.7.2 STEP 242

Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) on neutraali digitaalisten 3D tuotetietojen esittämiseen ja siirtämiseen tarkoitettu ISO hyväksytty standardi. STEP standardoitiin ensimmäisen kerran vuonna 1994, nimellä ISO 10303 Industrial Automation Systems – Product Data Representation and exchange. (Liu, Lovett, Godwin & Fletcher 2000, 1.)

Aiemmin kolmiulotteisen CAD-tiedon esittämiseen oli olemassa kaksi eri STEP-formaattia: Yleiseen mekaanisten CAD tietojen käsittelyyn tarkoitettu STEP AP203 (ISO 10303-203) ja enemmän autoteollisuuden tarpeisiin suunnattu STEP AP214 (ISO 10303-214). Päällekkäisten ominaisuuksien, käytön laajentamisen esteiden sekä uudistustarpeiden vuoksi vuonna 2010 eri teollisuuden alojen edustajat yhdessä standardoimisorganisaatioiden kanssa päättivät yhdistää kaksi standardia ja kehittää niistä uuden. Nimeksi tuli STEP AP242, (ISO 10303-242 - Managed model based 3d engineering), joka julkaistiin standardina 2014. (Hands Schuh ym. 2017).

Kahden aiemman formaatin, AP 203 ja AP 214 tietorakenne on sama, mutta AP 214 tarjoaa enemmän siirrettäviä tietoja AP 203 verraten, kuten taulukko 1:stä voi todeta. Uuteen STEP AP 242 formaattiin kehitettiin uusia tiedonsiirron osaluueita:

- mallipohjainen tuotekehitys (MBD).
- Integraatio tuotetiedon hallintajärjestelmiin (PDM).
- 3D geometrian tesselointi.
- 3D semanttiset tuotevalmistetiedot (PMI).
- pitkäaikaisarkistointi (Long Term Archiving - LTA).
- toimitusketjun integrointi.
- teknisen suunnittelun tietojenvaihto.

(ap242.org 2020.)

### **3 MBD-malliperusteisen tuotemäärittelyn käyttösunnitelman toteutus**

Opinnäytetyön toiminnallisen toteutusosion tarkoituksena on luoda konkreettisten käyttökokeilujen pohjalta suunnitelma malliperusteisen tuotemäärittelyn käytöstä Phillips Medisize Toolroomille, joka toimii työn toimeksiantajana.

Toteutusosion prosessissa malliperusteisesti määritellyn 3D-tuotemallin on määrä kulkea läpi koko tuotantoketju, jotta toimeksiantaja saisi käsityksen millaisia seikkoja tuotemäärittely 3D-tuotemalleille muottisuunnittelussa vaatii toimiakseen oikeassa tuotannossa. Prosessin on suunniteltu etenevän seuraavasti:

1. Opinnäytetyön tekijä suunnittelee tuotemallin tyypillisesti ruiskuvalumuoteissa esiintyvistä osasta.
2. Tekijä laatii 3D-tuotemallille malliperusteisen tuotemäärittelyn peilaten ISO 16792 standardia ja kirjoittaa vaiheista raportin.
3. Tuotemalli ja määrittely hyväksytetään opinnäytetyön toimeksiantajan edustajana toimivalla pääsuunnittelijalla. Mallia ja määrittelyä muokataan tarpeen mukaan.
4. Käyttökokeilusta järjestetään alkupalaveri, johon paikalle kutsutaan tuotantoketjun operaattorit, CAM/EDM-suunnittelijat sekä tuotannonsuunnittelija. Palaverissa esitellään aihe, valmistettava tuotemalli sekä kerrataan tietokoneella käsiteltävän tuotemallin näkymiin liittyvät asiat. Alustavat kommentit ja muutosehdotukset kirjataan ja tehdään. Sovitaan valmistusaikataulu.
5. Määritelty tuotemalli siirtyy valmistukseen. Kommentit, ongelmat ja parannusehdotukset kirjataan ylös. Tuotannon operaattorit käyttävät työssään tuotemallin tutkimiseen Siemens Teamcenter Visualization -ohjelmistoa. Mikäli ongelma estää valmistuksen, muutos tehdään.
6. Valmistuksen aikana opinnäytetyöntekijä tutustuu laadunvarmistuksessa tarvittavaan malliperusteisen mittaohjelman laadintaan Zeiss Duramax

koordinaattimittakoneella ja tuottaa laadinnan vaiheista kirjallisen raportin.

7. Valmistuksen päätyttyä 3D-tuotemallista tulisi olla syntynyt valmis osa, jonka vastaavuutta malliin ja mitoitukseen tarkastellaan Zeiss Duramax mittakoneella laaditulla mittaohjelmalla. Tulokset kirjataan raporttiin.
8. Käyttökokeilusta järjestetään lopetuspalaveri, jossa nidotaan yhteen saadut tulokset ja johtopäätökset malliperusteisen tuotemäärittelyn jatkokäytöstä lähitulevaisuudessa.

### 3.1 Tekninen valmius lähtötilanteessa

CAD-suunnitteluohjelmistona Phillips-Medisize Toolroomissa on käytössä Siemens NX, versio 1926. Perustoimintojen lisäksi ohjelmistoa on räätälöity muottisuunnittelun tarpeisiin erikseen saatavalla Mold Wizard -moduulilla. CAM-ohjelmointi ja EDM-kipinätyöstökärkien suunnittelu tapahtuu ohjelmiston omilla NX CAM ja Electrode Wizard moduuleilla.

Tuotetiedon tallennukseen ja elinkaaren hallintaan yritys käyttää saman valmistajan Siemens Teamcenter PLM-järjestelmää. Tuotantoketjun operaattoreista jokaisella on käytössään tietokone, jonka kautta muotinosien 3D-malleja ja kokoonpanoja voi tarkastella Teamcenter Visualization -näkyvällä, joka on täyttä ohjelmistoa kevyempi ja karsitumpi osa.

Malliperusteiseen tuotemäärittelyyn siirtymisestä on yrityksen sisällä puhuttu jo useiden vuosien ajan. Siemens NX on ohjelmistona sisältänyt MBD:n tuotemäärittelyn tekemisen omalla PMI moduulilla jo reilun 10 vuoden ajan. Toolroomin muottisuunnittelijat ovat toisinaan tehneet muun työnsä ohella osittaisia käyttökokeiluja 3D-malleille eri ohjelmistoversioiden moduuleilla, viemättä niitä kuitenkaan eteenpäin tuotantoketjussa. Uusimman 1926 version moduuli on havaittu jo niin kehittyneeksi, jotta malliperusteisesti tuotemääriteltujen muotinosien testaus tuotantoketjun läpi koetaan ajankohtaiseksi.

Laadunvarmistuksessa Zeiss Duramax CMM-koordinaattimittakoneella on tehty kokeiluja hyödyntää semanttisia PMI mittatietoja muotinosan 3D-mallissa noin kaksi vuotta sitten. Ajatuksena kokeiluissa oli luoda mittaohjelma suoraan 3D-malliin asetetuista mitta-arvoista. Tällöin testaus päättyi lisenssin puutteeseen.

### 3.2 Testikappaleen suunnittelu ja ISO 16792 pohjaiset suunnitteluvaatimukset

Toimeksiantajalla oli käyttökokeilua varten tuotantoketjun läpi käyvälle testikappaleen suunnittelulle kaksi kriteeriä, jotka tulisi toteutua. Ensimmäiseksi testikappaleen tulee vastata piirteiltään ja kooltaan tuotantoketjussa normaalisti valmistettavia muotinosia ja toisekseen sen on oltava tyypiltään sellainen, jossa kaikki tuotantoketjun työvaiheet toteutuvat. Toolroomin tuotantoketju sisältää seuraavat työstötavat:

- sorvaus; testikappale sorvataan aihioista, sillä kyseessä
- pehmytjyrsintä; kappaleen pohjaan porataan kierrereiat kiinnityspaletille ja sivujen suuntatasot jyrsitään.
- (karkaisu; halutut teräksen materiaalitekniset ominaisuudet saavutettaisiin karkaisemalla testikappale. Aikataulullisista syistä vaihetta ei suoriteta.)
- taso- ja pyöröhionta; ylä- ja alapinta tasomaisuus viimeisteillään tasohionnalla, pyöreät pinnat viimeistellään tarkkaan mittaan pyöröhionnalla.
- suurnopeustyöstö; yläpinnan laakea syvennys
- kipinätyöstö; kappaleen yläpinnassa oleva syvennyksen monikulmio luodaan kipinätyöstöllä, sillä muilla työstötavoilla säteettömien suorakulmien valmistus ei onnistu. Kipinäporalla tehdään pieni 1,4 mm reikä yläpinnan ja suutinpoteron välille.
- kiillotus; syvennys kiillotetaan, kuten oikeassa muottipesän valettavalle tuotemuodolle tehtäisiin.
- 

Tyypillisissä ruiskuvalumuotin osista esimerkiksi muottipesän insertti on muodoltaan pyöreä ja tästä syystä toimeksiantaja kehotti suunnittelemaan testikappaleeksi kyseisen osan kaltaisen 3D-tuotemallin. Ruiskuvalumuotissa muottipesän insertti on osa, jonka yläpintaan työstetty muovituotteen tuotemuoto kopioituu vastaavan malliseksi tuotteeksi sen täytyessä valussa muovimassalla. Suunnitellun tuotemallin pintojen haluttuja työstötapoja havainnollistetaan kuvassa 2.



**Kuva 2.** Mallinnettu 3D-tuotemalli Erowa 148 kiinnittimen kanssa. Tuotemalli jäljittelee ruiskuvalumuotin pesä inserttiä.

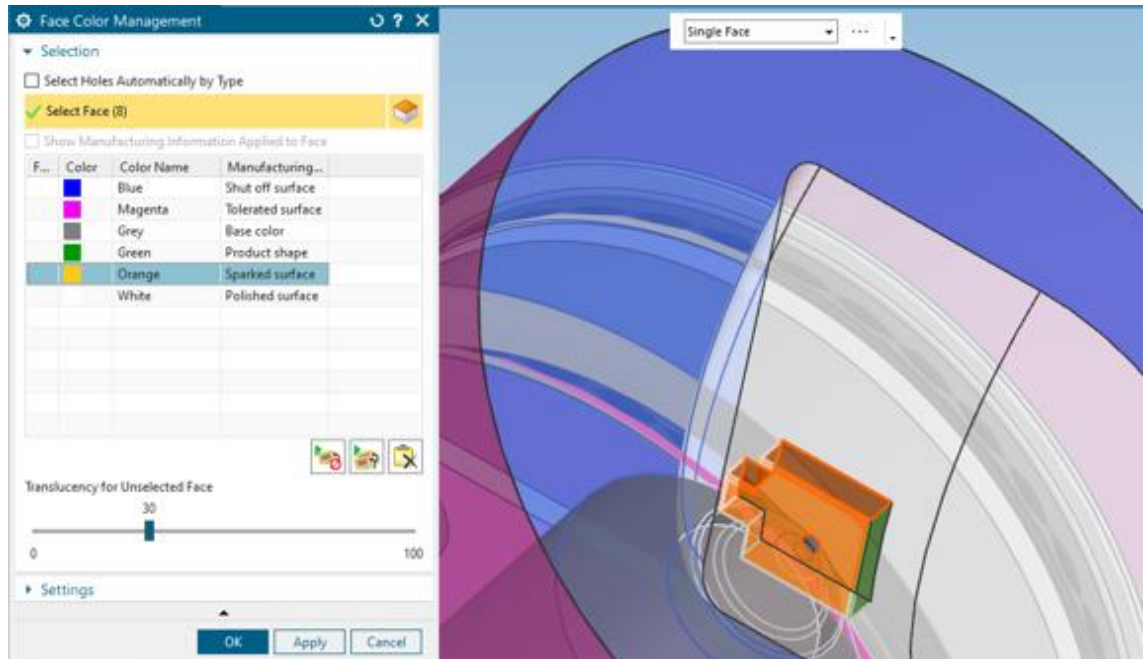
Standardi ISO 16792 ottaa kantaa suunnittelua koskeviin yleisiin vaatimuksiin tarkkuuden, mittakaavan ja koordinaatiston suhteen. Standardin mukaan mittakaavan tulee suunnittelussa 3D-tuotemallissa olla 1:1 ja mallin tarkkuuden osoittavan osan valmistuksessa vaadittavan, suunnittelun päämäärän täyttävän numeerisen tarkkuuden. Tuotemallia mitoittaessa tulee myös huomioida, ettei suunnittelussa tarvittavien desimaalien määrä saa ylittää suunnittelumallissa olevien määrää.

### 3.3 Värikoodaus valmiille tuotepinnoille

Ruiskuvalumuotteja valmistavissa yrityksessä on vuosikymmenien ajan ollut käytössä värikoodaus muotinosien pinnoille. Väreillä on haluttu viestiä valmiin muotinosan pintojen vaatimuksista ja valmistustavoista. Näin CAM työstöratojen ohjelmoijat ja EDM kipinätyöstökärkien suunnittelijat ovat saaneet nopealla silmäyksellä tiedot omaa valmistustapaa koskevistä alueista ja osanneet ottaa paremmin huomioon muihin työvaiheisiin vaikuttavat piirteet omassa työssään. Ruiskuvalumuottien valmistuksessa pintojen värikoodaus on ensimmäisiä digitaaliseen tuotemääritykseen rinnastettavissa olevia toimintatapoja.

Myös Phillips-Mediszen Toolroomissa on käytössä värikoodaus osana tuotemääritystä. Suunniteltuun testikappaleeseen asetettiin vastaavat värit

testikappaleen suunnittelun päätteeksi. Alla olevassa kuvassa 3 on toteutusesimerkki testikappaleeseen, jossa EDM-kipinätyöstettäviksi merkitään oranssilla korostettuja pintoja.



Kuva 3. Värikoodauksen asettaminen tuotepintoihin.

## 4 MBD-tuotemäärittely Siemens NX PMI moduulilla

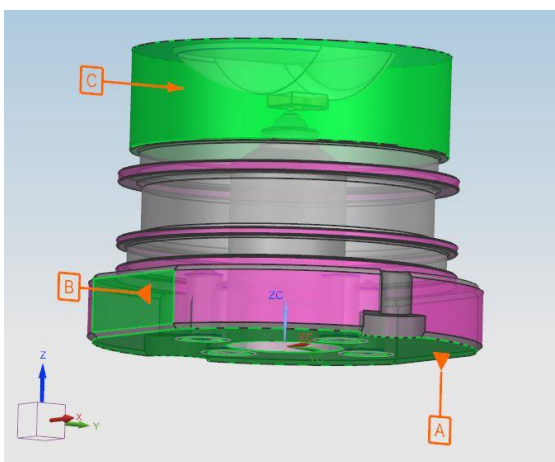
Siemens NX CAD-ohjelmistossa malliperusteinen tuotemäärittely suoritetaan ohjelmistossa mukana olevalla PMI moduulilla. Moduuli on rakennettu noudattamaan kolmiulotteisen tuotemäärittelyn ASME ja ISO-standardia, jolla 3D-tuotemalliin on mahdollista lisätä niin geometrisen mitoitus ja toleranssit (GD&T), annotaatiot, pinnanlaatu, hitsaus kuin materiaalmäärittely. (Siemens, 2021.)

Yleisilmeeltään PMI-moduuli vastaa teknisten piirustusten tekoon käytettyä Drafting-näkymää, jossa toiminnot ovat esitetty selkeästi symbolein. Tuotemäärittelyn laatimista käsittelevissä kappaleissa on ensin referoitu lyhyesti aihealuetta käsittelevän kohdan viesti ISO 16792 -standardista, jonka jälkeen esitetään laadittu tuotos.

#### 4.1 Peruselementtien asetus 3D-malliin

Peruselementit ovat mallissa olevia fyysisiä piirteitä, joita vasten geometriset toleroinnit tai TED-mitat, eli teoreettisesti tarkat mitat määritetään. ISO 16792-standardin mukaan peruselementtijärjestelmän on assosioitava vastaavaan tuotemalliin koordinaatistoon.

Alla olevassa kuvassa 4 suunnitellulle tuotemallille määriteltiin peruselementit, jotka on korostettu vihreällä värillä. Näistä A on määritelty tuotemallin pohjaa vasten, B viivamaiseksi elementiksi suuntatason suhteen ja C suutinpoteron reunan suhteen.



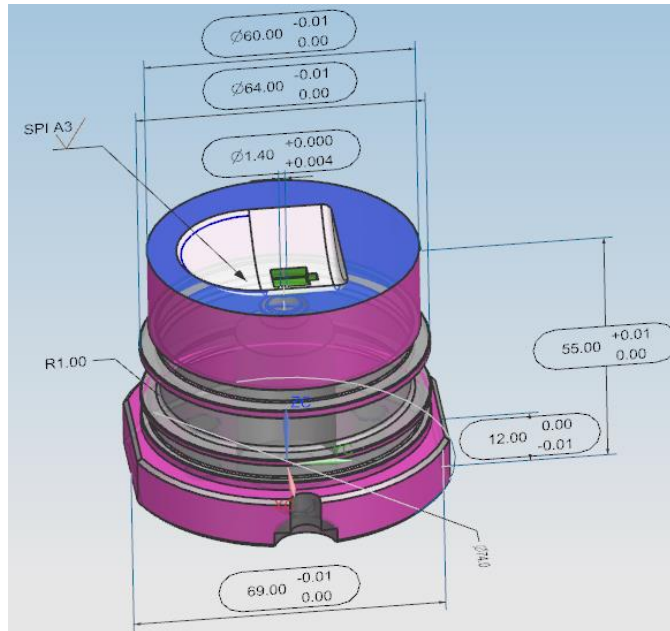
**Kuva 4.** Tuotemalliin määritellyt peruselementit.

#### 4.2 Tuotemallin arvot ja mitat

Tuotemallien elementeistä, esimerkiksi viivamaisesta piirteestä saadut arvot, joilla ei ole toleranssia tai rajoitettua peruselementtiä, ovat lähtökohtaisesti apumittoja, eikä näin ollen tarkkoja mitattavia annotaatioita.

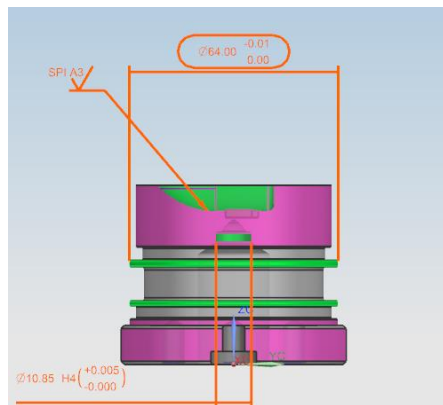
Annotaatioiden visuaalisessa sijoittelussa tulee ISO 16792 mukaan muistaa, etteivät annotaatiot saa mennä päällekkäin tai limittäin toistensa kanssa tai tuotemallin päälle, käännettäessä tuotemallia kohtisuoraan tasoa vastaan, jolla annotaatiot ovat.

Kuvassa 5 on esitetty tuotemallin perusmittoja ja pohjaan tulevien kierrereikien annotaatioita. Merkitsevät mitat ovat toleroitu ja ympyröity, kun taas apumitat ovat ilman tolerointia. Mallin annotaatiot ovat kuvassa kahdella tasolla, horisontaalisesti sekä vertikaalisesti.



**Kuva 5.** Tuotemallin perusmittojen asetus.

Annotaatioita tulisi myös pystyä valitsemaan, näyttämään tai piilottamaan halutusti. Kuva 6 on esimerkki, kuinka annotaatiolla määritetyn piirteen tai piirreryhmään kuuluvat pinnat voidaan assosoida, eli liittää annotaatioon.

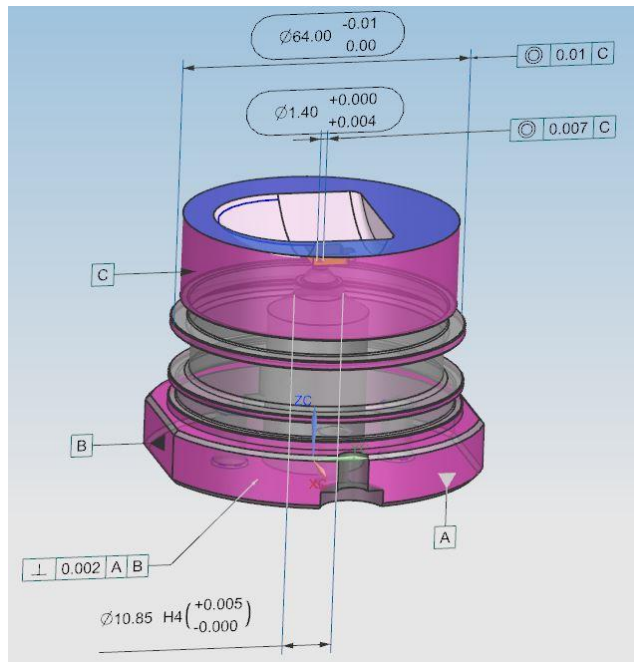


**Kuva 6.** Annotaatioon liittyvät piirteet korostuvat vihreällä värillä

### 4.3 GD&T geometrinen toleranssien liittäminen

Geometriset toleranssit esitetään toleranssikehyksillä, joissa suorakulmion sisällä kerrotaan toleranssityypin symboli, haluttu tarkkuus ja peruselementtisympoli, joita vasten geometrinen toleranssi todetaan. Tuotemallin muoto- ja suuntatoleranssikehyksen sijoittaminen täytyy tapahtua ISO16792 mukaan annotaatiotasolle, joka on kohtisuorassa tai yhtenevästi kehyksellä osoitettavan pinnan suhteen.

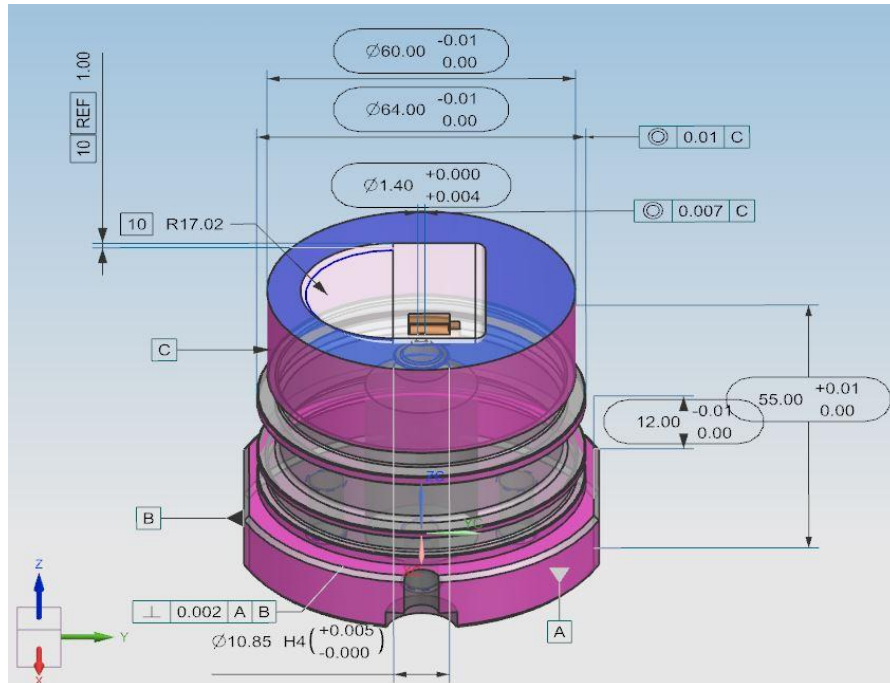
Esimerkiksi työssä käytettävään tuotemalliin liitettiin kaksi toleranssia. Kuvassa 7 muototoleranssi tasomaisuus on sijoitettu koskemaan tuotemallin pohjapintaa, joka todetaan peruselementistä "A". Samassa kuvassa suutinreikää asemoiva suuntatoleranssi samankeskeisyys todetaan peruselementti "C" kautta.



Kuva 7. Geometriset toleranssit tuotemallissa.

#### 4.4 Mitattavat annotaatiot ja positiomitta

Opinnäytetyön myöhemmässä vaiheessa kokeiltavaa mittaohjelman luontia varten tarvittiin tallennettu näkymä pelkille tuotemallista mitattaville piirteille. Piirteet on valittu noudattelemaan samankaltaisen osan vastaavia mitattavia piirteitä, esimerkiksi tuotteelle merkitseviä halkaisijoita tai kappaleen kokonaiskorkeutta. Positiomittalla, joka kuvassa 8 on merkitty arvolla R17.02 tarkastetaan tuotemallin yläpinnassa olevan muodon sädetä.

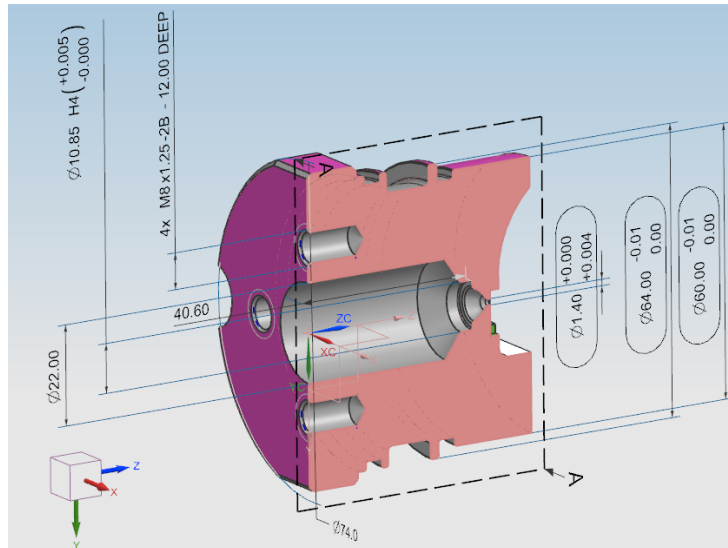


**Kuva 8.** Mitattavat annotaatiot tuotemallissa.

#### 4.5 Leikkauskuvannon teko

Leikkauskuvantojen tekemiseen annetut ohjeet ovat pitkälle yhtäläiset teknisten piirustusten vastaavien kanssa ja pohjautuvat Taulukossa 2 mainittuun ISO 128-40 standardiin. Leikkausten on oltava samassa mittakaavassa kuin tuotemalli. Myös leikkaustaso ja sen suunta on yksilöitävä käyttäen suuraakkosia sekä reuna merkittävä käyttäen ehyttä viivaa tai kapeaa pitkää pistekatkoviivaa. Leikkauskuvannon tulee lisäksi päivittyä muutosten myötä reaaliaikaisesti tuotemallin kanssa.

Suunnitellun tuotemallin piirteiden kuvaamiseksi riitti yksi vertikaalisesti koordinaatiston YZ-suunnassa oleva leikkauskuvanto, joka esitetään kuvassa 9. Näkymällä halutaan kuvata muuten piiloon jäävien piirteitä.



**Kuva 9.** Leikkauskuvanto.

Kuvannossa nähdään, että leikkauksen rajatun katkoviivalla, joka osoittaa nurkista suuraakkosilla "A" leikkauksen suunnan. Leikkauksen muuttumista muun tuotemallin muutoksen mukana testattiin vaihtamalla mitta-arvoja, joka toimi odotetusti.

#### 4.6 Tallennetut näkymät ja valmis tuotemäärittely

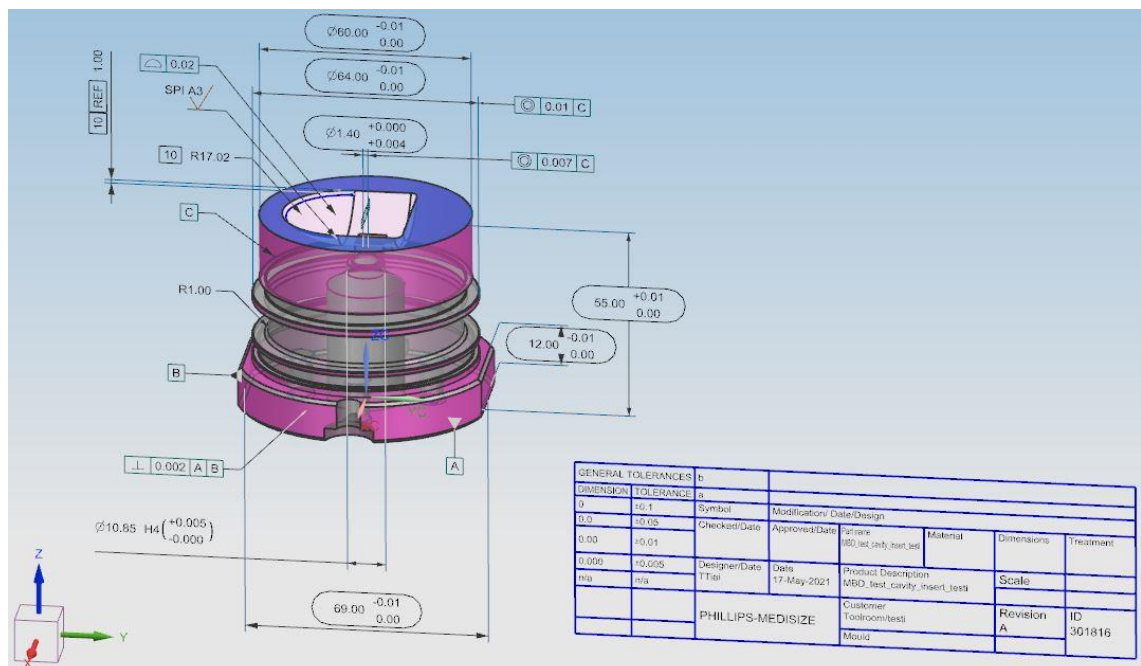
Sillä kaikkia piirteitä ei pystytä esittämään selvästi yhdessä näkymässä, tarvitaan malliperusteisen tuotemäärittelyn tueksi yksi tai useampi erillinen näkymä. ISO 16792 antaa ohjeistaa, että tallennetut näkymät tulee olla haettavissa tunnisteen tai nimen avulla ja jokaisessa niistä on oltava koordinaatisto, yleensä sama kaikissa. Näkymät voivat sisältää myös useamman annotaatiotason.

Ennen tuotemäärittelyn aloitusta on hyvä miettiä tuotemalliin tarvittavat näkymät, joista kaikki piirteet saadaan esitettyä. Tämän jälkeen näkymät tallennetaan nimellä, määritetään peruselementit sekä mallissa kulkevat keskiviivat. Pohjatöiden jälkeen ollaan valmiita tallennettujen näkymien annotaatioiden määrittämiseen. Kuvassa 10 on esitetty PMI-moduulissa nimetyt näkymät, joita valitsemalla haluttu näkymä avautuu.



**Kuva 10.** Tallennetut näkymät PMI-moduulissa.

Työtä varten mallinnettuun tuotemalliin tallennettuja näkymiä tuli kolme kappaletta. Peruskuvannon (kuvassa 11) lisäksi tarvittiin yksi leikkauskuvanto sekä tulevaa mittaohjelmaa varten erillinen näkymä positiomitoille, jossa muille annotaatioille ei ole tarvetta.



**Kuva 11.** Valmis malliperusteinen tuotemääritetty malli informaatoruudun kanssa.

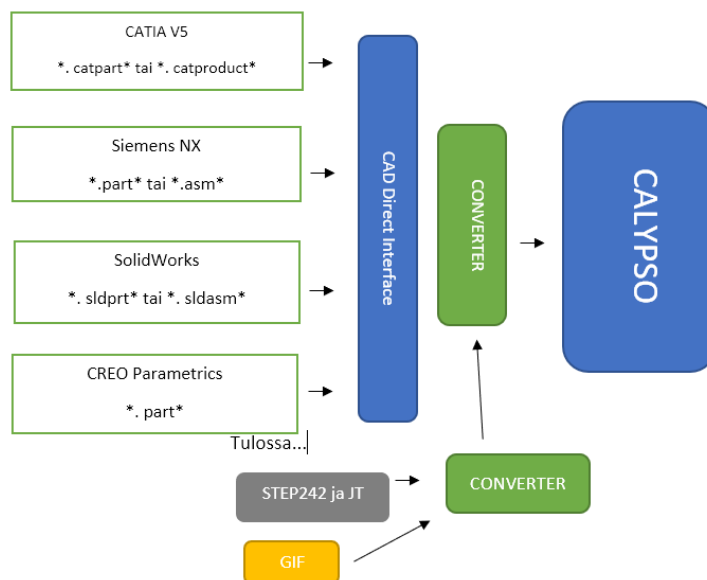
Valmiiseen tuotemääriteltyyn peruskuvantoon lisättiin informaatioikkuna sellaisia valmistustietoja varten, joita tuotemalliin ei voida määrittellä, mutta tuotantoketju tarvitsee. Informaatioikkuna on laadittu siten, että tuotemallin suunnittelun aikana malliin liitetyt attribuuttitiedot liittyvät automaattisesti ikkunan kenttiin, esimerkiksi tuotteen kuvaus, materiaali, ID-tunnistenumero, suunnitteluajankohta tai suunnittelija.

## 5 Mittaohjelman laadinta

Mittaohjelman laadintaan käyttökokeilujen osana oli käytössä Zeiss Duramax -koordinaattimittakone ja mittaohjelmistona samaisen valmistajan Calypso, versioltaan 6.8. Kokeilut toteutettiin kahdella eri tuotemallilla; jo valmistuksessa olevalle muotinosalle, josta oli olemassa konkreettinen osa mitattavaksi saakka sekä opinnäytetyön toteuttajan suunnittelema testikappaleelle.

### 5.1 MBD määritellyn tuotemallin tiedonsiirto mittakoneelle

Tuotemallia PMI-tietoineen koordinaattimittakonetta ohjaavaan Calypso -mittaohjelmistoon on mahdollista siirtää suoraan suurimpien CAD-ohjelmistojen omilla tiedonsiirtoformaateilla, kuten kaaviosta 3 voi todeta.



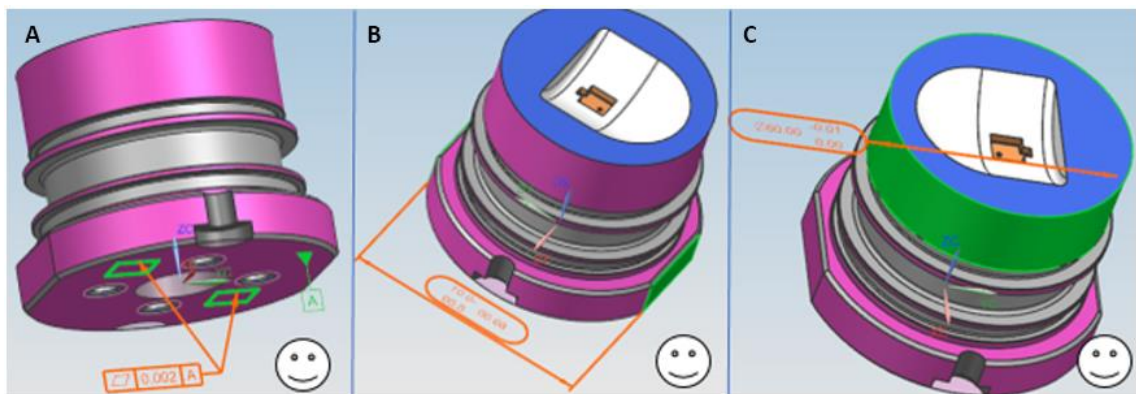
**Kaavio 3.** Zeiss Calypso -ohjelmiston tukemat tiedonsiirtoformaatit. (Shoenberg, 2020.)

Käytössä olevassa Calypson versiossa 6.8 ei vielä ollut käytössä neutraalien formaattien käyttämällisyys, joten aiemmasta suunnitelmasta poiketen tietoa siirrettiin pelkästään Siemens NX CAD:n omalla ".part" -formaatilla.

### 5.2 Mittaohjelman luonti

Jotta PMI-tiedoilla määritetty tuotemalli saataisiin toimimaan käytössä olevan mittausohjelmiston ymmärtämin tavoin, on PMI-tietoja tuotemalliin lisättäessä tunnettava ja otettava huomioon mittausohjelmiston vaateet mallille. Zeiss on tuottanut opetusvideon PMI-tietojen hyödyntämisestä mittausohjelman laadinnan automatisointiin.

Zeiss Calypso -mittausohjelmistolle suositeltu semanttinen PMI-tieto perustuu pintavalintoihin kahden pisteen välisessä mitoituksessa. Piste- ja viivamaiset elementit ovat mahdollisia, mutta CAD- ja mittausohjelmistojen välinen ymmärrys on vaikeampi saavuttaa. (Shoenberg 2020.) Kuvassa 12 on esimerkkejä Calypson ymmärtämisestä merkintätavoista tuotemalliin suunnitteluohjelmiston puolella.



**Kuva 12.** PMI tietojen merkitsemistapoja tuotemalliin Zeiss Calypsolle PMI-moduulissa.

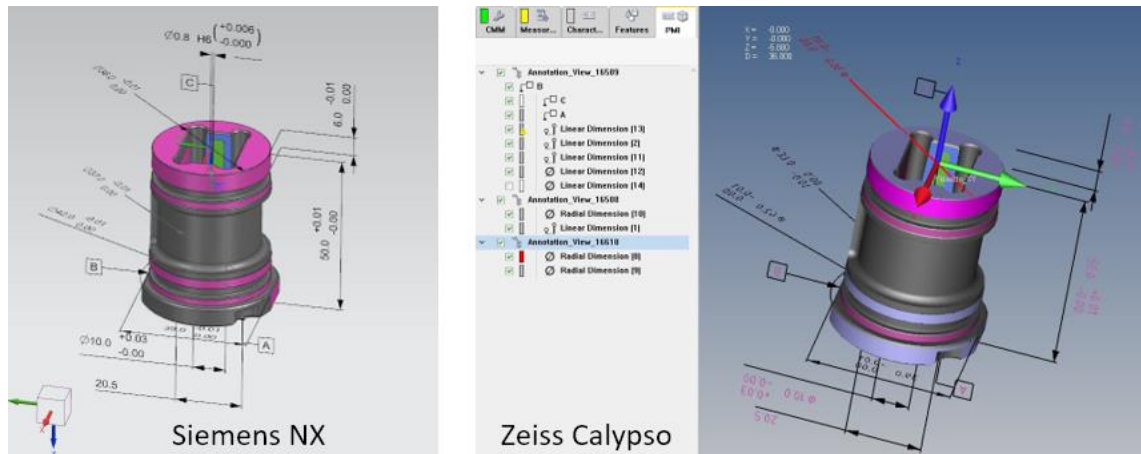
Esimerkki A kuvastaa yhdelle pinnalle tehtävää merkintää, tässä tapauksessa samansuuntaisesta geometrisesta toleranssista. Opetusvideolla Shoenberg (2020.) antaa neuvoksi luoda pinnalle erilliset alueet ja asettaa merkintää koskevat pinnat niille. Esimerkeissä B on kyseessä kahden tason välisen etäisyyden määrittys -ja C:ssä sylinterin halkaisija.

### 5.2.1 PMI tietojen määrittäminen Zeiss Calypsolle

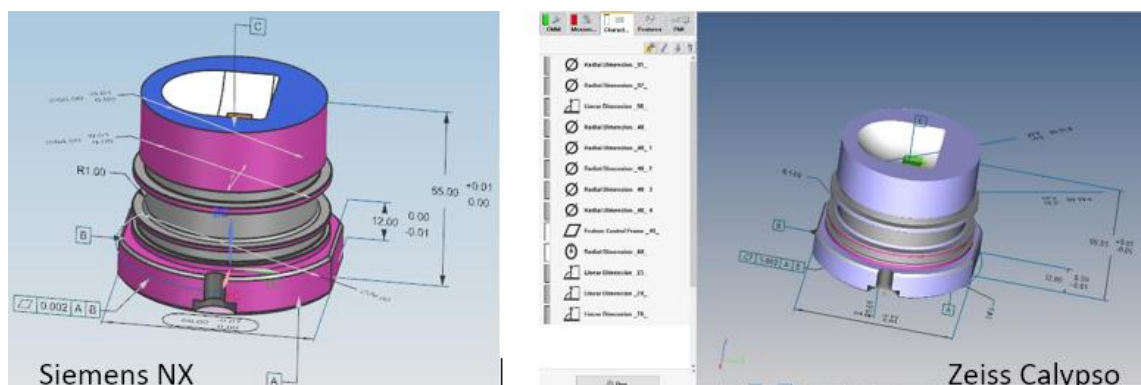
Suunnitellun testikappaleen ja jo valmistuksessa olevan muotinosan Siemens NX:n PMI-moduulissa luotujen tuotemäärittelytietojen tiedonsiirtoa verrattiin Zeiss Calypsoon siirtyvään tietoon. Ennen mittausohjelmien laadintaa tuotemäärittelyä oli tarkennettava useaan kertaan Siemens NX:n puolella

opetusvideolta sekä Zeiss Calypson oman ohjekirjan pohjalta, jotta tuotemalleissa olevat piirteet ja mittatiedot saatiin siirtymään halutusti mittausohjelmiston puolelle.

Tuotemalleista siirtyvien mitattavien annotaatioiden määrää karsittiin käyttökokeiluihin, jolla haettiin tuotemallien helpompaa hallintaa ennestään tuntemattomassa mittausohjelmistossa. Kuvassa 13 ja 14 on verrattu vierekkäin tuotemallien näkymiä Siemens NX:n ja Zeiss Calypson välillä.



**Kuva 13.** Valmistuksessa olevan muotinosan vertailu Siemens NX/Zeiss Calypso



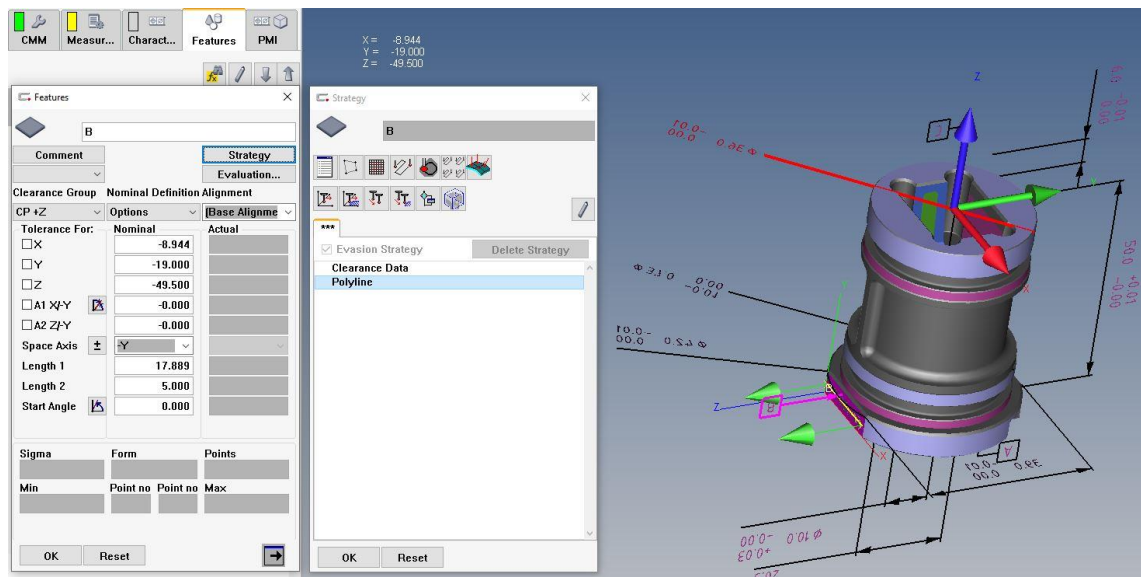
**Kuva 14.** Suunnitellun testikappaleen vertailu Siemens NX/Zeiss Calypso

## 5.2.2 Mittaustavan hienosäätö

Mittausohjelmisto luo automaattisesti mitattavat annotaatiot, tuotemallin piirteet sekä karkean mittaussuunnitelman mittaustapoineen. Osa-alueet on vähintään tarkistettava ja yleensä muokattava, jotta varmistutaan mittaustavan olevan juuri kyseiselle annotaatiolle sopiva ennen oikeaa mittausta.

Piirteille määritettiin suunta, josta mittakoneen mittakärki lähestyy mitattavaa pintaa sekä kuinka kyseinen piirre halutaan mitata. On huomioitava, että mittakärkien, joilla konkreettinen mittaus osan pinnoilta tapahtuu, on

määriteltävä manuaalisesti. Esimerkkinä kuvassa 15 peruselementille B varmistettiin mittaustapa viivamaisena piirteenä kahden pisteen avulla.

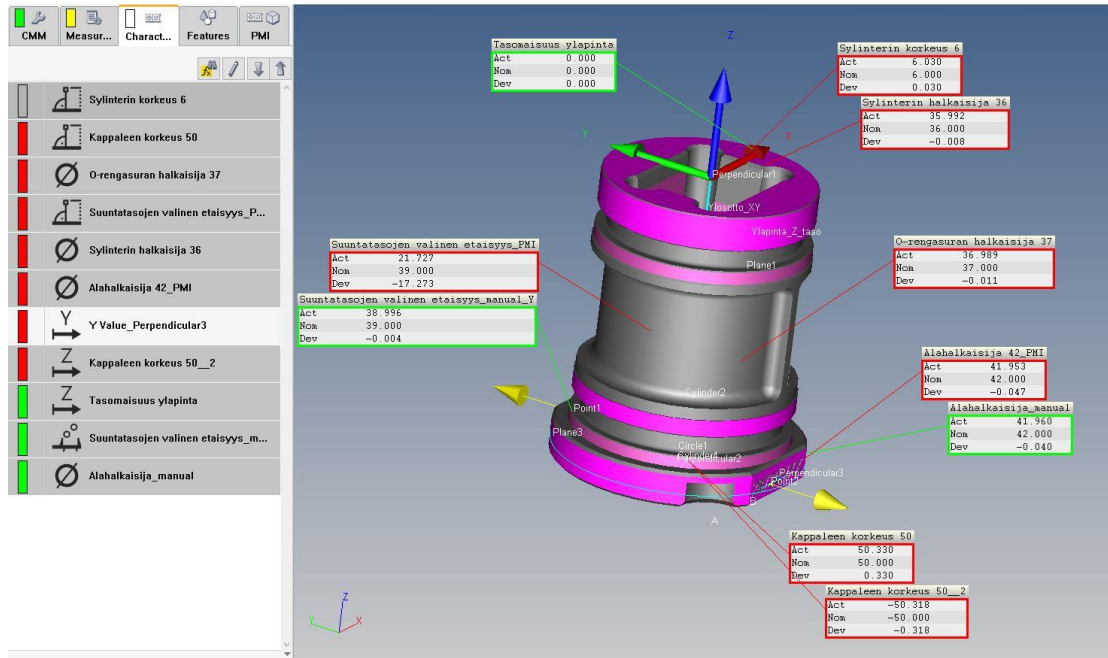


Kuva 15. Mittaustavan ja mittakärjen lähestymisen varmistaminen peruselementille B.

### 5.3 Mittaustulokset

Vaikka mittaohjelmistossa automaation määrää voidaan lisätä malliperusteisen tuotemäärittelyn mallin avulla, on Zeiss Calypson mittaohjelman laadinta ilman tuotuja piirteitä erittäin nopeaa ja helppoa. Käyttökokeiluna laadittuun mittaohjelmaan lisättiin kaksi piirrettä, jotka määriteltiin manuaalisesti. Tällä tavoin haluttiin verrata tuotemallin mukana tulleiden piirteiden vastaavuutta manuaalisesti määritettyihin nähden.

Mittaustulokset olivat pääsääntöisesti oikeansuuntaisia, oli kyseessä automaattisesti määritellyt piirteet tuotemallin mukana tai manuaalisesti valitut. Vertailussa manuaalisten ja automaattisten piirteiden välillä oli kuitenkin mittaheittoa, joista mittatieto suuntatasojen välillä täysin pielessä. Mittausraporttia voi tarkastella alla olevasta **kuvasta 16**.



**Kuva 16.** Mittaustulokset valmistuksessa olevasta muotinosasta.

Syytä tälle ei käyttökokeilun aikana keksitty, mutta arvio kohdistuu Siemens NX PMI-moduulin puolella luotuihin piirteisiin, joita vasten mittatulos syntyy. Erilaisilla muutoksilla PMI-moduulin puolella ei tästä huolimatta saatu muutosta asiaan, joten lisäselvitystä, harjoittelua ja kouluttautumista mittaohjelman laadinta vaatii runsaasti lisää.

## 6 Pohdinta

Lähtökohdat malliperusteiseen tuotemääritykseen liittyvälle opinnäytetyölle olivat otolliset toimeksiantajan mielenkiinnon ja teknisten valmiuksien myötä. Käytössä työhön oli viimeisin ohjelmistoversio Siemens NX CAD-suunnitteluohjelmistosta, jolloin pohdinnat tuoreemman ohjelmistoversion mahdollisesti kehittyneemmistä tuotemääritysominaisuuksista työtä tehdessä ei ollut tarpeen.

Pohjatietojen etsintä asiaan paneutumiseksi teoriaosiossa oli odotettua positiivisempi yllätys; tietoa MBD konseptista ja sen käyttömahdollisuuksista oli tarjolla hyvin ennakko-odotuksiin nähden.

Siemens NX CAD-ohjelmiston PMI-moduuli osoittautui ominaisuuksiltaan malliperusteisessa tuotemäärittelyssä käteväksi työkaluksi, jolla mittatiedot, toleranssit, ja muut annotaatiot halutuun kuvannoin olivat helppoja esittää. Toiminnot ovat selkeitä käyttää, jonka lisäksi muut käyttäjät sekä ohjelmiston valmistaja ovat lisänneet opetusvideoita uuden käyttäjän tueksi itsenäistä opiskelua varten internetin yleisimpiin kanaviin. Käyttäjän kannalta mieleen tulevia parannuksia ohjelmistolta voisivat olla ohjetyökalu toleranssikehysten- ja arvojen liittämiseksi, joka helpottaisi käyttäjäänsä kertomalla, mikäli toleranssikehysten ja peruselementtien välillä on ristiriitoja, jotka eivät pätsisi esimerkiksi teknisessä mittauksessa.

Laadittujen malliperusteisten tuotemallien käsittely ja tarkastelu tuotantoketjun kaikilla osilla käytössä olevilla Siemens Teamcenter PLM -järjestelmän Visualization Standard ja Active Workspace näkymillä toimi pienen opetteluun jälkeen mutkitta. Active Workspace näkymään pystyttiin lisäämään tuotteen valmistukseen liittyvät lisätiedot työvaiheista ja Visualization Standardilla kolmiulotteinen tuotemallin kääntely ja itsenäinen lisämittojen tarkastus on mahdollista. Nämä yhdessä täydentävät toisiaan.

Teknisen mittauksen käyttökokeiluista saadut tulokset olivat Zeiss Duramax-koordinaattimittakoneella kaksijakoiset. Positiivista oli, että MBD määritetyt tuotemallit saatiin avautumaan mittausohjelmistossa halutunlaisena, kun Siemens NX PMI-moduulin ja Calypso -mittausohjelmiston käyttökokemus kasvoi. Jotta käyttö olisi kätevää ja tuotemallin mukana tulevat PMI-tiedot automatisoisivat toimintaa verrattuna manuaaliseen tuotemallin elementtien ja mittapisteiden määrittelyyn verrattuna, on tilanteeseen vielä pitkä matka. Käytössä olleen Calypson versio 6.8 verraten tulevaisuus on epäilemättä kirkaampi tässäkin asiassa.

Testikappaleelle laadittu tuotemäärittely osoittautui pidetyssä tuotannon aloituspalaverissa kelpolliseksi aloituslähtökohdaksi MBD:n käytölle tuotemallin mittojen ja merkintöjen osalta. Tarvittavat merkintämuutokset lisättiin samaisessa palaverissa. Vaikka MBD tuotemäärittely sinänsä onnistuu ja tarvittavat näkymät PMI-moduulin avulla saadaan tietoon, näyttää käytön määrän lisäys millaista hiomista aihe vielä vaatii.



## Lähteet

American Society of Mechanical Engineers (ASME). 2003. Y14.41–2003. Digital product definition data practices. Sivut 1-5.

Bentley, K. 2018. Prolim NX CMM: Using NX CMM for Inspection programming <https://www.youtube.com/watch?v=zaDFnsQGaRs>. 6.3.2021.

Bijmens, J., Cheshire, D. 2019. The Current State of Model Based Definition. Computer-Aided Design & Applications, 16(2), 2019, 308-317. [http://cad-journal.net/files/vol\\_16/CAD\\_16\(2\)\\_2019\\_308-317.pdf](http://cad-journal.net/files/vol_16/CAD_16(2)_2019_308-317.pdf). 24.1.2021.

Caillet, C. 2011. Exchanging 3D Models with PMI using STEP. Datakit. <https://www.datakit.com/en/news/exchanging-3d-models-with-pmi-using-step-61.html>. 25.3.2021.

Camba, J., Contero, M., Company, P., Pérez, D. 2017. On the Integration of Model-Based Feature Information in Product Lifecycle Management Systems. International Journal of Information Management 37(6):611–621. [https://www.researchgate.net/publication/318044015\\_On\\_the\\_Integration\\_of\\_Model-Based\\_Feature\\_Information\\_in\\_Product\\_Lifecycle\\_Management\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/318044015_On_the_Integration_of_Model-Based_Feature_Information_in_Product_Lifecycle_Management_Systems). 21.3.2021.

Doorackers, R. 2019. Model Based Definition: Nice-to-have or must-have for an automated, flawless industry 4.0 production environment. <https://www.sf.com/wp-content/uploads/Model-Based-Definition-Nice-to-have-or-must-have-for-an-automated-flawless-industry-4.0-production-environment.pdf>. 15.3.2021.

Fileformat. 2020. What is a JT file? <https://docs.fileformat.com/3d/jt/>. 21.12.2020.

Frechette, S. P. (2011). Model Based Enterprise for Manufacturing. Proceedings of the 44th CIRP International Conference on Manufacturing Systems. <https://www.nist.gov/publications/model-based-enterprise-manufacturing>. 23.3.2021.

Garland, N., Wade, R., Glithro, R., Palmer-Smith, S. 2019. Model Based Definition: Finally, The engineering drawing killer? Bournemouth University.

<https://www.designsociety.org/publication/42286/MODEL+BASED+DEFINITION%3A+FINALLY%2C+THE+ENGINEERING+DRAWING+KILLER%3F>  
23.3.2021.

Hedberg, T., Lubell, J., Fischer, L., Maggiano, L., Feeney, A. 2016. Testing the Digital Thread in Support of Model-Based Manufacturing and Inspection. Journal of Computing and Information Science in Engineering  
[https://www.researchgate.net/publication/294108024\\_Testing\\_the\\_Digital\\_Thread\\_in\\_Support\\_of\\_Model-Based\\_Manufacturing\\_and\\_Inspection/link/57236c9e08ae262228aa6a01/download](https://www.researchgate.net/publication/294108024_Testing_the_Digital_Thread_in_Support_of_Model-Based_Manufacturing_and_Inspection/link/57236c9e08ae262228aa6a01/download) 21.1.2021.

Jackson, C. 2016. Lifecycle Insights. What's the difference between MSBE, MBD, MBE and Model Based Development? <https://www.lifecycleinsights.com/whats-the-difference-between-mbse-mbd-mbe-and-model-based-development/>  
23.3.2021.

Lipman, R., Filliben, J. Testing Implementations of Geometric Dimensioning and Tolerancing in CAD Software. Computer-Aided Design and Applications. [https://www.researchgate.net/publication/339521219\\_Testing\\_Implementations\\_of\\_Geometric\\_Dimensioning\\_and\\_Tolerancing\\_in\\_CAD\\_Software/link/5eb9b511299bf1287f7fb14e/download](https://www.researchgate.net/publication/339521219_Testing_Implementations_of_Geometric_Dimensioning_and_Tolerancing_in_CAD_Software/link/5eb9b511299bf1287f7fb14e/download) 24.1.2021.

Lipman, R. & Lubell, J. 2015. Conformance checking of PMI representation in CAD model STEP data exchange files. Computer-Aided Design 66 (2015), 14–23.  
[https://www.researchgate.net/publication/275156763\\_Conformance\\_checking\\_of\\_PMI\\_representation\\_in\\_CAD\\_model\\_STEP\\_data\\_exchange\\_files](https://www.researchgate.net/publication/275156763_Conformance_checking_of_PMI_representation_in_CAD_model_STEP_data_exchange_files) 24.1.2021.

Lubell, J., Chen, K., Horst, J., Frechette, S., Huang, P. Model Based Enterprise / Technical Data Package Summit Report. NIST National Institute of Standards and Technology. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.TN.1753> 18.3.2021.

Marra, M., Pascarelli, C., Lazoi, M., Corallo, A., Micchetti, F. 2018. Knowledge based manufacturing: A proposal to manage manufacturing rules. <https://www.designsociety.org/publication/40455/KNOWLEDGE-BASED+MANUFACTURING%3A+A+PROPOSAL+TO+MANAGE+MANUFACTURING+RULES>.16.3.2021.

Nguyen, Jimmy. 2020. What is PMI (Product Manufacturing Information)? <https://www.capvidia.com/blog/what-is-pmi-product-manufacturing-information>.  
17.1.2021.

Protolabs. 2017. What is Product Manufacturing Information (PMI)?  
<https://www.protolabs.com/resources/blog/what-is-product-manufacturing-information-pmi/>. 24.1.2021.

Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., Venne, F., Kheddouci, F. 2010. Computers in Industry 61 (2010) 497–508. Will Model-based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361510000060>. 18.3.2021.

Ramesh, M. Model Based Definition MBD. PTC.  
<https://www.engineering.com/story/ebook-model-based-definition-mbd-wzypm>. 18.3.2021.

Rapinoja, J-P. 2016. Malliperusteisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet - raportti. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Sivut 1-15.  
[https://sfs.fi/files/8302/MBD\\_Raportti\\_2016.pdf](https://sfs.fi/files/8302/MBD_Raportti_2016.pdf)

Reese, B. 2019. The Largest Barrier and Common Mistakes in Implementing Model Based Definition. <https://blog.3dcs.com/the-largest-barrier-and-common-mistakes-in-implementing-model-based-definition>. 31.3.2021.

Shoenberg, B. 2020. How to generate inspection plans from PMI. Zeiss.  
<https://www.youtube.com/watch?v=pVNUfa8-HZs>. 18.5.2021.

Siemens. 2019. JT File Format Reference Version 10.5.  
[https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/Siemens%20JT%20V10.5%20Format%20Description%20and%20annexs%2010292019\\_tcm27-58011.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/Siemens%20JT%20V10.5%20Format%20Description%20and%20annexs%2010292019_tcm27-58011.pdf). 21.12.2020.

Siemens, 2021. Product Lifecycle Management (PLM) Software  
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/product-lifecycle-management-plm-software/12506>. 23.3.2021.

Siemens, 2021. Product and Manufacturing Information (PMI)  
[https://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/Images/9645\\_tcm1023-4581.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/9645_tcm1023-4581.pdf). 20.4.2021.

Suomalaisen asiasanasto- ja ontologiapalvelu Finto. 2021. Semantiikka.  
<https://finto.fi/yso/fi/page/p6804> 24.1.2021.

Suomen standardisoimisliitto. 2015. SFS-ISO 16792 Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Sivut 5–19.

Werst, S. 2015. Leveraging Model Based Definition (MBD) for Fast and Accurate Tolerance Analyses.  
<https://blogs.solidworks.com/tech/2015/09/leveraging-model-based-definition-mbd-for-fast-and-accurate-tolerance-analyses.html>. 16.3.2021.

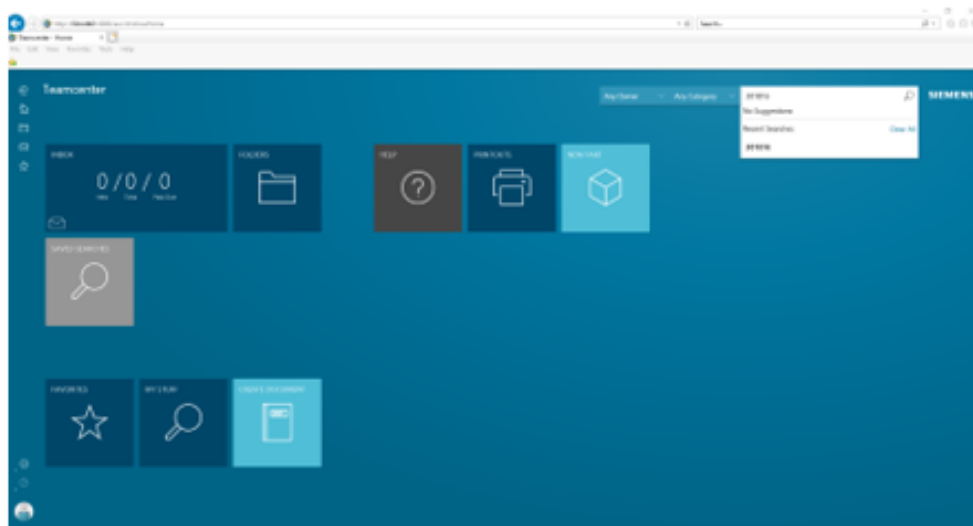
Wu, O. 2016. Engineers Rule. Top 5 Reasons to Use MBD.  
<https://www.engineersrule.com/5-reasons-use-mbd/>. 20.3.2021.

Uski, P., Pulkkinen, A., Hillman, L., Ellman, A. 2020. Issues on Introducing Model-Based Definition - Case of Manufacturing Ecosystem.  
<https://www.researchgate.net/publication/344167756>. 17.3.2021.

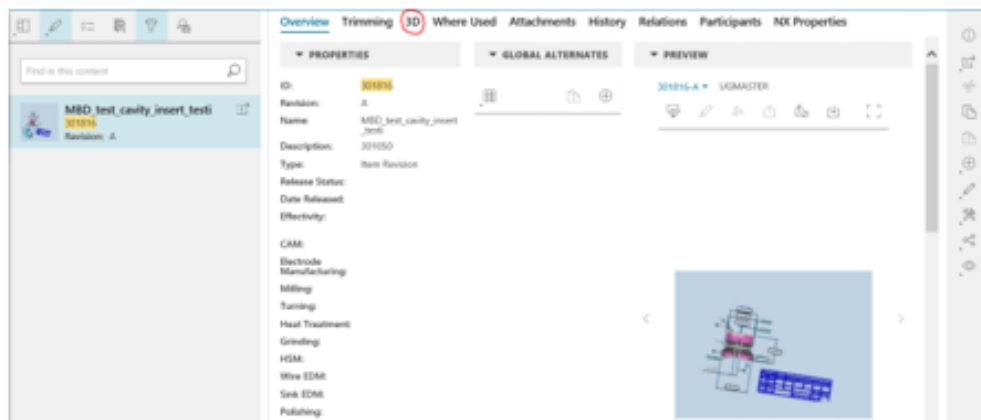
**Liite 1.** PMI tuotemallien tarkastelu Teamcenter Active Workspace -näkyvässä

## PMI mallien katselu Teamcenter Visualization Standard – Active Workspace

1. Kirjoita osan ID-numero yläoikealla hakukenttään

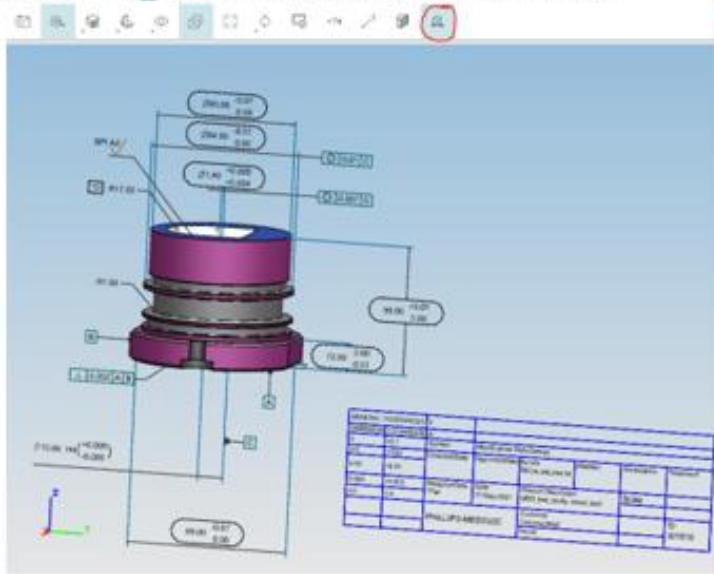


2. Valitse yläpalkista 3D-välilehti



3. Valittuasi 3D-välilehden, malli avautuu ruudulle isompana. Paina hiirellä vielä punaisella ympyröity PMI näkymä päälle.

Näin saat katseltua oikealle avautuvassa ruudussa olevia tallennettuja kuvantoja.



PMI

Model Views Types

STEP THROUGH

- Back
- Bottom
- Front
- Isometric
- Left
- PMI Annotations (1)
- PMI Parameters (1)
- Linear Dimension (2)
- Centerline (1)
- Ordinate Dimension (5)
- Feature Control Frame (4)
- Ordinate Dimension (3)
- Ordinate Dimension (3)
- Datum Feature Symbol A (1)
- Linear Dimension (7)
- Radial Dimension (4)

Recent Text

**Liite 2.** PMI tuotemallien tarkastelu Teamcenter Visualization Standard -näkyvässä



